

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота бакалавра  
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг  
обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві  
етилового спирту. Розробити ректифікаційну колону з  
ковпачковими тарілками.

Виконав:  
студент групи ХМдн-54-чк  
Матвієнко Віктор Васильович

\_\_\_\_\_  
Підпис

Залікова книжка  
№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

Керівник:  
ст.викладач

з оцінкою \_\_\_\_\_

Корнієнко Віктор Миколайович

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

СУМИ 2020

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"  
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних  
виробництв"

Курс 3 Група ХМдн-54-чк Семестр

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студент Матвієнко Віктор Васильович

1 Тема проекту: Ректифікаційна установка у виробництві етилового спирту. Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками.

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону для отримання етилового спирту. Продуктивність 30000 дал/добу. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші-19,34; на верхній тарілці -86,254. Робочий тиск-0,102 МПа.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

- |  |            |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема ректифікаційної установки</u> | – 1, 0арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарату</u>                 | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальні креслення вузлів</u>                  | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2.Малежик І.Ф. Процеи і апарати харчових виробництв.Курсове проектування/ І.Ф.Малежик. –К. :НУХТ,2012. –544с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	х				
2 Технологічна частина		хх			
3 Проектно-конструкторська частина			хх		
4 Розробка креслень				хх	
5 Оформлення записки					х
6 Захист роботи					х

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

ст. викл.Корнієнко В.М.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Технологічна частина	
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	5
1.2 Теоретичні основи процесу.....	8
1.3 Опис об'єкту розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	12
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	
2.1 Матеріальний та тепловий баланси.....	15
2.2 Технологічні розрахунки.....	19
2.3 Конструктивні розрахунки апарата.....	22
2.4 Гідравлічний опір апарата.....	30
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	31
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	
3.1 Визначення товщини стінки апарата і кришки.....	36
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	41
3.3. Розрахунок опори апарата.....	50
4 Монтаж та ремонт апарата	
4.1 Монтаж розробленого апарата.....	54
4.2 Ремонт апарата.....	56
5 Охорона праці.....	66
Висновки.....	72
Список літератури.....	73
Додаток А	
Додаток Б - Перевірочний розрахунок на ПЕОМ	
Додаток В - Специфікації	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата							
Розроб.		Матвієнко			Ректифікаційна установка у виробництві етилового спирту			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Корнієнко								3	73
Н. контр.		Корнієнко			СумДУ, гр. ХМдн-54чк						
Затв.		Складінський									

## ВСТУП

В економіці України ринок алкогольної продукції займає вагоме місце. Виробництво спирту забезпечує економічну безпеку та технологічну незалежність країни. Таким чином спирт - один із бюджетоформуючих продуктів. Звідси впливає актуальність дослідження стану і перспектив розвитку підприємств спиртової та лікєро-горілочаної промисловості, з урахуванням, що діяльність цих підприємств забезпечує наповнення прибуткової частини бюджету.

Впровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій у значній мірі вирішує екологічну проблему, яка тісно пов'язана з викидами шкідливих відходів виробництва та продуктів згоряння в навколишнє середовище, тому енерго- і ресурсозбереження є екологічною проблемою суспільного виробництва.[1]

Резервом збільшення виходу товарної продукції з одиниці сировини при виробництві спирту є зменшення спиртовмісних побічних продуктів ректифікації(головна фракція ,сивушний спирт та сивушне масло) за рахунок більш повного концентрування.

Прискорення науково-технічного прогресу в спиртовій промисловості вимагає створення безвідходних технологій, максимальної механізації і автоматизації виробництва, втілення нових видів високопродуктивного обладнання та підвищення якості продукції. [2]

Однією з найголовніших операцій при виробництві спирту є його перегонка на браго-ректифікаційних установках (БРУ). Саме від типу БРУ залежить міцність і якість спирту. Найпоширенішими є трьохколонні установки, які включають в себе бражну, епюраційну та ректифікаційну колони. [4]

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис технологічної схеми виробництва [1]

Мелясою називають останній маточний розчин - відтік, який отримують при відокремленні кристалів цукрози на центрифугах. У мелясі містяться цукроза, яку виділити методом кристалізації вже економічно не вигідно, і нецукри соку цукрового буряка чи цукрової тростини. При виробництві цукру з буряка вихід меляси в розрахунку на безводну коливається від 3,5 до 5 % від її маси. З мелясою відходить від 10 до 15 % усього цукру, який міститься у буряку.

У залежності від вихідної сировини для виробництва цукру одержують бурякову чи тростинну мелясу. У нашій країні цукрова тростина не вирощується. Спиртові заводи переробляли тростинну мелясу, яку імпортували з Куби.

Меляса - це концентрований розчин різних мінеральних і органічних речовин, частина яких знаходиться в колоїдному стані. Меляса - густа в'язка рідина темнокоричневого кольору відносною густиною 1,35..1,40.

Вихідним продуктом в даному проекті є ректифікований спирт, який може бути одержаний із снірту-сирцю або безпосередньо з бражки.

Із спирту-сирцю ректифікований спирт одержують на періодично- або безперервно діючих ректифікаційних установках.

У спиртовій промисловості ректифікований спирт одержують виключно з бражки, що вважається економічно більш доцільним.

Одержання ректифікованого спирту безпосередньо з бражки здійснюється на безперервно діючих брагоректифікаційних установках (БРУ), на яких можна виділити спирт з бражки й звільнити його від супутніх летких домішок. Його характеристики - концентрація етилового спирту, не менше ніж 96,0 об. %, вміст домішок (в 1дм<sup>3</sup> безводного спирту, мг, не більше ніж): альдегідів – 10, сивушних масел – 15, ефірів – 50, вільних кислот – 20, метилового спирту (об. % не більше ніж) – 0,05.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бражний дистилят після епюраційної колони, який називатиметься далі епюратором, з концентрацією 30-35% об. поступає на 16-ту тарілку (тарілка живлення) ректифікаційної колони 1.

В ректифікаційній колоні відбувається повний відгін та зміцнення спирту, а також концентрація компонентів сивушного масла и пастеризація спирту, тобто додаткова очистка від головних домішок на тарілках, що знаходяться над зоною збору спирту.

Пари спирту з ректифікаційної колони поступають в дефлегматор 5, конденсуються в ньому і у вигляді флегми повертаються на верхню тарілку колони. Не сконденсована спиртова пара з дефлегматора поступає в конденсатор, в якому відбувається повна конденсація.

Із конденсатора 2 ректифікаційної колони проходить відбір непастеризованого спирту (в кількості до 30%), який через ротаметр направляється на третю-четверту, рахуючи зверху тарілку епюраційної колони.

Надлишкова кількість дистиляту з конденсатора 3 у вигляді флегми повертається в колону.

Ректифікований етиловий спирт виводиться з колони з однієї з тарілок відбору спирту, потім він направляється на холодильник спирту 6.

Із зон з 5, 9, 10 і 11-ї нижніх тарілок колони відбувається відбір парів сивушного масла (в кількості 3-4%), які через віддільник парів поступають в конденсатор парів сивушного масла 9, звідки конденсат подають в змішувач 11 і змішують з лютерною водою в пропорції (1:2)..(1:4). Зі змішувача сивушне масло направляють до масловловлювача 10, звідки по мірі накопичування його відводять в ємність 13. Всі поверхні теплообміну охолоджують водою з колектора, у який воду подають від насосів або напірного бака.

Бражний дистилят після епюраційної колони, який називатиметься далі епюратором, з концентрацією 30-35% об'єму поступає на 16-ту тарілку (тарілка живлення) ректифікаційної колони .

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ректифікація, як метод розділення складних розчинів на майже чисті індивідуальні компоненти, базується на процесах часткового випару рідких сумішей різного складу та часткової або повної конденсації пари. Ці процеси багаторазово повторюються на контактних пристроях шляхом протитечійного і багаторазового контактування парової і рідкої фаз нерівноважного складу. У результаті таких багаторазово повторюваних процесів, що відбуваються в колонних апаратах - ректифікаційних колонах, висхідна парова фаза по висоті колони поступово збагачується низькокиплячим компонентом і з верхньої частини колони відводяться майже чиста пара НКК. З іншого боку, рідка фаза, що стікає по колоні зверху вниз, збагачується висококиплячим компонентом і знизу ректифікаційної колони виводиться лютерна вода.

Таким чином, фізична сутність процесу ректифікації базується на багаторазовій протитечійній взаємодії парової і рідкої фаз нерівноважних концентрацій, у результаті якої на контактних пристроях відбуваються процеси конденсації і випаровування фаз, а також термодифузійний масообмін речовинами між взаємодіючими фазами.

В ректифікаційній колоні відбувається повний відгін та зміцнення спирту, а також концентрація компонентів сивушного масла и пастеризація спирту, тобто додаткова очистка від головних домішок на тарілках, що знаходяться над зоною збору спирту.

Пари спирту з ректифікаційної колони поступають в дефлегматор 5, конденсуються в ньому і у вигляді флегми повертаються на верхню тарілку колони. Не сконденсована спиртова пара з дефлегматора поступає в конденсатор, в якому відбувається повна конденсація.

Із конденсатора 2 ректифікаційної колони проходить відбір непастеризованого спирту (в кількості до 30%), який через ротаметр направляється на третю-четверту, рахуючи зверху тарілку епюраційної колони. Надлишкова кількість дистиляту з конденсатора 3 у вигляді флегми повертається в колону.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ректифікований етиловий спирт виводиться з колони з однієї з тарілок відбору спирту, потім він направляється на холодильник спирту 6.

Із зон з 5, 9, 10 і 11-ї нижніх тарілок колони відбувається відбір парів сивушного масла (в кількості 3-4%), які через віддільник парів поступають в конденсатор парів сивушного масла 9, звідки конденсат подають в змішувач 11 і змішують з лютерною водою в пропорції (1:2)..(1:4). Зі змішувача сивушне масло направляють до масловловлювача 10, звідки по мірі накопичування його відводять в ємність 13.

Всі поверхні теплообміну охолоджують водою з колектора, у який воду подають від насосів або напірного бака.

## 1.2 Теоретичні основи процесу [1]

Етиловий спирт має широке застосування в різних галузях харчової промисловості України . Харчова промисловість - його головний споживач: спирт використовують при виготовленні лікєро-горілочаних та плодово-ягідних напоїв, для закріплення винних матеріалів і купажування виноградних вин, у виробництві оцету, харчових ароматизаторів і парфюмерно-косметичних виробів. У мікробіологічній і медичній промисловості спирт потрібний для осадження ферментних препаратів із культуральної рідини або екстракту із твердофазної культури, для одержання вітамінів та інших препаратів і ліків, також етиловий спирт використовується як дезинфікуючий засіб і як речовина, яка запобігає інфікуванню і псуванню лікувальних екстрактів (валеріани, пустирнику та ін.). Невелика кількість спирту використовується у хімічній, машинобудівній, автомобільній та інших галузях промисловості, а також у ветеринарії і фармакопії.

Одним з найважливіших процесів при виробництві спирту є ректифікація, адже це практично завершальна стадія виробництва спиртової сировини. Від

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ректифікації залежать такі якісні показники, як: концентрація етилового спирту в продукті, вміст домішок (альдегіди, ефіри, органічні кислоти, метанол).

Ректифікація відбувається у спеціальних апаратах – ректифікаційних колонах, їх будова і принцип роботи дуже різноманітні.

Найбільш доцільно використовувати апарати непрямой дії, так як вони забезпечують високу якість спирту, стабільність режиму, легкість управління і регулювання.

Основними елементами кожної БРУ являється бражна, епюраційна і ректифікаційна колони. Окрім цього багато колонні БРУ мають до двох десятків і навіть більше теплообмінників: підігрівачі бражки і спирту-сирцю, дефлегматори, конденсатори, холодильники, кип'ятильники і т.д.

Ректифікація, як метод розділення складних розчинів на майже чисті індивідуальні компоненти, базується на процесах часткового випару рідких сумішей різного складу та часткової або повної конденсації пари. Ці процеси багаторазово повторюються на контактних пристроях шляхом протитечійного і багаторазового контактування парової і рідкої фаз нерівноважного складу. У результаті таких багаторазово повторюваних процесів, що відбуваються в колонних апаратах - ректифікаційних колонах, висхідна парова фаза по висоті колони поступово збагачується низькокиплячим компонентом і з верхньої частини колони відводяться майже чиста пара НКК. З іншого боку, рідка фаза, що стікає по колоні зверху вниз, збагачується висококиплячим компонентом і знизу ректифікаційної колони виводиться практично чистий ВКК. Отже, ректифікаційна колона являє собою тепломасообмінний апарат, у якому по висоті колони знизу вгору на тарілках знижується температура кипіння рідини від максимальної в кубовій частині до мінімальної на верхній тарілці концентраційної колони. В нижній частині у колони температура практично дорівнює температурі кипіння ВКК при відповідному тиску в колоні, на верхній тарілці колони температура практично дорівнює температурі кипіння НКК. На кожній тарілці колони встановлюється відповідна концентрація компонентів у рідині та відповідна

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температура кипіння рідини. Параметри роботи колони залежать від властивостей розділюваної суміші, тиску в колоні, типу контактних пристроїв і режиму роботи тарілки в певних гідродинамічних умовах.

Процес розділення киплячих рідких однорідних сумішей різних за леткістю компонентів внаслідок їх часткового випаровування з подальшого конденсацією утвореної пари називається перегонкою (дистиляцією).

Перегонка широко використовується в харчовій технології як один з основних процесів у виробництві етилового спирту, що одержується при зброджуванні крохмалю і цукристих речовин; в коньячному виробництві при одержанні коньячного спирту з вина.

Перегонка ґрунтується на різницях температур кипіння, парціальних тиску та леткостей окремих компонентів, які входять до складу суміші. Під час нагрівання рідкої суміші до кипіння компонент, що має нижчу температуру кипіння, переходить у пару і видаляється з неї у першу чергу. Компонент з вищою температурою кипіння залишається в рідкому стані й лише частково випаровується.

Компонент суміші, який при незмінному тиску кипить за нижчої температури, називають легко летким, або низькокиплячим, а компонент, що кипить при високій температурі - важколетким, або висококиплячим. Отже, в процесі перегонки рідка фаза збіднюється, а парова фаза збагачується легколетким компонентом. Рідина, що не випарувалась, природно, має склад більш багатий важколетким компонентом. Ця рідина називається залишком, рідина, отримана в результаті конденсації пари, - дистилятом, або ректифікатом. Тому процес перегонки називають також дистиляцією, або ректифікацією.

Ступінь збагачення парової фази легколетким компонентом за інших рівних умов залежить від виду перегонки. Існують два принципово відмінних види перегонки: проста перегонка (дистиляція) і ректифікація. Проста перегонка - це процес одноразового часткового випаровування рідкої суміші та конденсації пари,

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що утворюється. Звичайно її використовують для грубого розподілу рідких сумішей, леткості компонентів яких істотно відрізняються.

Значно більш повний розподіл рідких сумішей на компоненти досягається шляхом ректифікації. Ректифікація - процес розділення багатокомпонентної гомогенної суміші летких рідин шляхом багаторазового випаровування і конденсації цієї суміші, що супроводжується поверненням частини конденсату у вигляді флегми. Взагалі, процес перегонки поріднений до процесу випаровування. Принципова різниця полягає в тому, що випаровуванню піддають суміші, які складаються з леткого розчинника і нелеткої розчиненої речовини, а перегонці піддають рідкі суміші, в яких і розчинник і розчинена речовина володіють різною леткістю.[2]

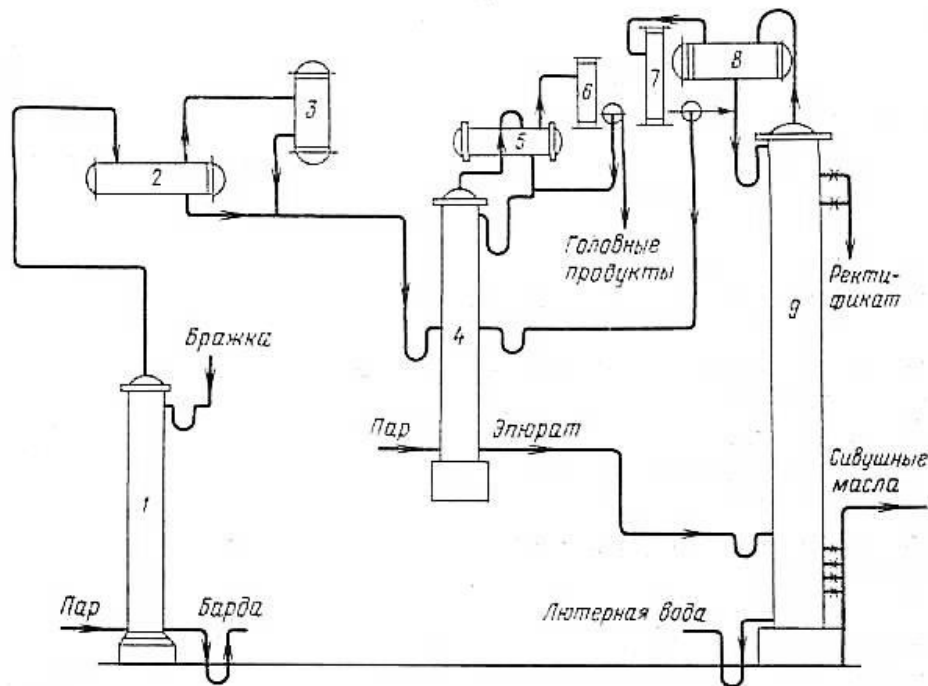


Рис.1.1 Принципова схема брагоректифікаційної установки непрямої дії

1 – бражна колона, 2 – конденсатор, 3 – додатковий конденсатор, 4 – епюраційна колона, 5 – дефлегматор епюраційної колони, 6 – конденсатор епюраційної колони, 7 – ректифікаційна колона, 8 – дефлегматор ректифікаційної колони, 9 – ректифікаційна колона.

В установках непрямої дії рис.1.1 водно-спиртові пари, які підіймаються із бражної колони 1 повністю згущуються в конденсаторі 2 і в рідкому вигляді поступають на епюрацію в колону 4. Епюрат направляється в ректифікаційну колону 9, де проміжні продукти сивушне масло і спирт-ректифікат. Дана установка прийнята як типова завдяки високим експлуатаційним показникам.

### 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів [4]

Концентраційна колона по виробництву ВКД, що проектується, потужністю 3000 дал/добу являє собою вертикальний циліндричний апарат колонного типу, в середині якого встановлені контактні масообмінні пристрої – багато ковпачкові тарілки.

Корпус колони складається із окремих царг, які з'єднані між собою фланцями. Таке виконання забезпечує можливість монтажу апарату в приміщенні брагоректифікаційного відділення.

Корпус концентраційної колони оснащений технологічними штуцерами, люками – лазами, а також патрубками, гільзами і бобишками для контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

Апарат встановлюють на циліндричну опору.

Концентраційна колона живиться спиртовою рідиною (епюратом), частково звільнених від головних продуктів. Її задача заключається в наступному:

- 1) у виділенні з епюрату залишків головних продуктів і зниження їх концентрації;
- 2) в отриманні цільового продукту – ВКД;
- 3) у виділенні і концентруванні залишкових продуктів сивушного масла;
- 4) у виділенні кубового залишку – лютерної води.

Таким чином, процес в концентраційній колоні дуже складний.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Поступаюча в концентраційну колону спиртова рідина має складну будову. Вона містить невелику кількість ефірів і альдегідів, кислоти, воду, сивушне масло (близько 0,3...0,35% по відношенню до спирту, що виробляється) .

Робота здійснюється наступним чином. Епюрат подається в колону через штуцер.

За рахунок введення гострої граючої пари і виносного випарника в систему підводиться тепло, що забезпечує кипіння рідини на контактних пристроях і генерацію водно-спиртових парів, що піднімаються вгору по колоні. Протитоком до останніх стікає сконденсована рідина – флегма.

На тарілках колони реалізується багаторазовий тепло-масообмінний процес в режимі перехресного потоку. Апарат можна розділити на верхню – концентраційну (укріплюючу) і нижню – вичерпуючу (виварну). Спирт-ректифікат виводиться в рідкій фазі через штуцера, вищі яких розташовані тарілки, на яких здійснюється пастеризація спирту і концентрування головних сумішей. Пари непастеризованого спирту виводяться на дефлегмацію через штуцер Б. Флегма на пастеризацію подається через штуцер Д. Проміжні суміші виводяться із зони максимального концентрування штуцерами Е і К. Лютерна вода, фактично звільнена від алкоголю виводиться через штуцер Р. Контроль якості лютерної води здійснюється шляхом відбору проб через пробний холодильник, щоб запобігти втратам цільового продукту.

При виборі конструкційного матеріалу основним критерієм є його хімічна і корозійна стійкість в заданому середовищі[4].

В переважній більшості випадків вибирають матеріал абсолютно або достатньо стійкий в середовищі при її робочих і розрахункових параметрах і до розрахункових товщин додають на корозію відповідні прибавки в залежності від терміну роботи апарата. Разом з тим слід враховувати і інші види корозії (міжкристалічну, точечну, корозійне розтріскування), до яких схильні деякі матеріали в агресивних середовищах.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Другим критерієм при виборі матеріалу є розрахункова температура стінок апарата, а також, якщо ця температура є задовільною для апаратів, які встановлюються на відкритих площадках або в неопалювальному приміщенні, необхідно враховувати абсолютну мінімальну зимню температуру зовнішнього повітря ( для географічного району встановлення апарата ), при якій апарат може знаходитися під тиском або вакуумом.

Таким чином, вибір матеріалу повинен проводитися із його корозійної стійкості в заданому середовищі і робочих умов ( тиск, температури стінки - розрахункової і мінімально можливої від'ємної, механічного зносу робочих органів). До всього вищесказаного необхідно додати важливий вплив техніко-економічного фактора. Виходячи з цього при всіх рівнозначних факторах, які впливають на вибір конструкційного матеріалу, перевагу необхідно надати найбільш дешевому і доступному, так як ігнорування останнім тягне за собою збільшення вартості апарату.

Харчова промисловість виносить жорсткі вимоги до органолептичних якостей продукції і виключає попадання продуктів корозії в кінцевий продукт. Тому всі частини, які знаходяться в безпосередньому контакті з водно-спиртовими розчинами і парами, повинні бути виготовленні із високолегованої харчової сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 9941-81. А інші, по можливості, із сталі звичайної якості Ст3 ГОСТ 380-94. В якості матеріалу для прокладки слід використовувати параніт.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА

### 2.1 Матеріальний та тепловий баланси

На верхній тарілці колони вміст спирту в суміші складає  $96,4\%_{об} = 86,254\%_{мол}$ . В колону вихідна суміш (епюрат) поступає з вмістом спирту  $X_m = 38\%_{мас} = 19,34\%$  моль. Приймаємо флегмове число  $\vartheta = 4$ .

Матеріальний баланс колони складають з метою визначення кількості продуктів на основі даних про вхідну сировину та заданих умов розділення

Визначаємо кількість ректифікованого спирту, що відводиться з колони (в кг/год)

$$G_{p.c.} = \frac{(3000 \cdot 10 \cdot 0,825 (\frac{96,4}{100}))}{24} = 998 \quad (2.1)$$

де 3000 дал / добу – потужність заводу;

10 – коефіцієнт переведу декалітрів у літри;

0,825 кг / м<sup>3</sup> – густина спирту;

96,4% - кількість ректифікованого спирту до загальної кількості безводного спирту.

Визначаємо:

- кількість непастеризованого спирту (в кг/год)

$$G_{n.c.} = \frac{3000 \cdot 10 \cdot 0,825 (\frac{2,0}{100})}{24} = 21 \quad (2.2)$$

де 2,0% - кількість непастеризованого спирту до загальної кількості безводного спирту [1,с.183].

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– кількість сивушного спирту (в кг/год)

$$G_{c.c.} = \frac{(3000 \cdot 10 \cdot 0,825 \cdot (\frac{1,0}{100}))}{24} = 9,98 \quad (2.3)$$

де 1,0% - кількість сивушного спирту до загальної кількості безводного спирту [1,с.183].

Кількість погону парів сивушного масла (в кг/год)

$$G_{c.m.} = \frac{3000 \cdot 10 \cdot 0,825 \cdot (\frac{1,7}{100})}{24} = 17,76 \quad (2.4)$$

де 1,7% - кількість погону парів сивушного масла до загальної кількості безводного спирту [3].

Визначаємо кількість бражного дистиляту, що входить в епюраційну колону при міцності бражки 8,5%об. (6,8%мас), міцності бражного дистиляту 38%мас. (в кг/год)

$$G_o = \frac{3000 \cdot 10 \cdot 0,872 \cdot 100}{24 \cdot 38} = 2869,12 \quad (2.5)$$

Визначаємо кількість головної фракції, яка виводиться з епюраційної колони, при нормі відбору 4%мас від загальної кількості безводного спирту (в кг/год)

$$G_{сзф.} = \frac{(3000 \cdot 10 \cdot 0,79 \cdot (\frac{4,0}{100}))}{24} = 39,5 \quad (2.6)$$

Кількість епюрату, що поступає в ректифікаційну колону складе (в кг/год)

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



$$G_e = 2869,12 + 9,98 - 39,5 = 2839,6$$

Результати обчислень зведемо в таблицю 2.1:

Продукти	Вміст, кг/год.
1. Епюрат з епюраційної колони	2839,6
2. Флегма(Ф), спирт-ректифікат із дефлегматора (D).	$(\Phi + D) = (V + 1) \cdot D = 5D$
3. Гріюча пара	$G_n$
Всього	$2839,6 + \Phi + D + G_n$

Витрати:

Продукти	Вміст, кг/год.
1. Спирт-ректифікат	998,0
2. Сивушний спирт	9,88
3. Пари сивушного масла	17,76
4. Непастеризований спирт	21,0
5. Лютерна вода	$2839,6 - (998 + 9,88 + 17,76 + 21) = 1792,96$
6. Пари флегми	$(V + 1) \cdot D = 5D = \Phi + D$
7. Конденсат пари	$G_n$
Всього	$998 + 9,88 + 17,76 + 21 + 1792,96 + \Phi + D + G_n = 2839,6 + \Phi + D + G_n$

Кількість пари, що конденсується в дефлегматорі складатиме:

$$5D = (998 + 21)5 = 5090 \text{ кг/год.}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

На підставі теплового балансу колони визначають витрати гріючої пари, що вводитьься до неї, та кількість води або іншого холодоагента, необхідного для відведення теплоти на конденсацію пари, яка виходить з колони.

Таблиця 2.2 Прихід:

З продуктом	Прихід теплоти $Q$ , кДж/год.
1. З епюратором	$Q_1 = 2839,6 \cdot 87 \cdot 1,05 \cdot 4,19 = 1089400$
2. З флегмою	$Q_2 = 5095,0 \cdot 73,3 \cdot 0,65 \cdot 4,19 = 1089400$
3. З гріючою парою	$Q_3 = 2724,8 G_n$ , де 2724,8 – тепловміст гріючої пари, кДж/кг
Всього	$Q_3 + Q_1 + Q_2$

Таблиця 2.3 Витрати:

З продуктом	Витрата теплоти $Q$ , кДж/год.
1. Зі спиртом-ректифікатом	$Q_4 = 998 \cdot 78,3 \cdot 0,65 \cdot 4,19 = 212852$
2. З парами сивушного масла	$Q_5 = 1466,5 G = 1466,5 \cdot 17,76 = 25978$ , де 1466,5 – тепловміст пари продукту, кДж/кг
3. З сивушним спиртом	$Q_6 = 9,88 \cdot 79,5 \cdot 0,8 \cdot 4,19 = 2639,7$
4. З лютерною водою(без конденсату пари)	$Q_7 = 1792,96 \cdot 104 \cdot 1 \cdot 4,19 = 799340$
5. З парами в дефлегматор	$Q_8 = 1231,86 G = 1231,86 \cdot 5095,0 = 6285000$ , де 1231,86 – тепловміст пари продукту, кДж/кг
6. З конденсатом пари	$Q_9 = 435,76 G_n$ , де 435,76 – тепловміст пари продукту, кДж/кг
Всього	$Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$

На основі теплового балансу маємо:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

$$2724,8G_n + 1089400 + 1089400 = 212852 + 25978 + 2639,7 + 779340 + 6285000 + 435,76G_n.$$

$$2289,04G_n = 5127009,7$$

$$G_n = 2240 \text{ кг/год}$$

Витрата пари з урахуванням тепловтрат (5%) становитиме – 2350 кг/год.

## 2.2 Технологічні розрахунки

Для визначення числа тарілок в концентраційній частині колони скористаємося рівнянням:

$$y_n = \frac{V}{V+1} x_{n+1} + \frac{x_D}{V+1},$$

де  $y_n, x_D$  - вміст спирту в паровій та рідкій фазах, (2.7)

$V$  - флегмове число

Концентрацію ректифіката приймаємо  $x=96,4\%$  об.  $=86,254\%$  мол.;  $V=5$ .

При  $x=x_D$ :

$y=x=86,254\%$  мол

При  $x=0$ :

$$y=1/(4+1)=86,254=17,3\% \text{ мол}$$

З двох отриманих точок на діаграмі  $x - y$  будуюмо робочу лінію концентраційної частини колони (додаток 1).

Для побудови робочої лінії відгінної частини колони скористаємося рівнянням :

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y = \frac{L}{G}(x - x_0) \quad (2.8)$$

Величина парового потоку дорівнює:

$$G = \frac{2350}{18} = 130 \text{ кмоль}$$

Величина рідинного потоку складається з потоку епюрату ( $L'$ ) і потоку флегми ( $L''$ ). Потік епюрату дорівнює:

$$L' = \frac{2839,6}{22,8} = 124,5 \text{ кмоль}$$

(22,8 - середня молекулярна маса епюрату при концентрації спирту 34,7% мас.).

Потік флегми:

$$L'' = \frac{4 \cdot (998 + 21)}{42,1} = 96,8 \text{ кмоль}$$

(42,1 - середня молекулярна маса флегми при концентрації спирту 96,2% об.).

Величина рідинного потоку дорівнюватиме:

$$L = L' + L'' = 124,5 + 96,8 = 221,3 \text{ кмоль}$$

Рівняння відгінної частини колони буде мати вигляд

$$y = \frac{221,3}{130}(x - x_0) = 1,7(x - x_0)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Концентрація спирту на живильній тарілці із діаграми складає 19,3% мол. На ділянці зміни концентрації спирту від 19,3% мол. до 86,254%мол.визначаємо необхідну кількість теоретичних тарілок у концентраційній частині колони:  $n' = 25$  т. т. При к. к. д. тарілок 0,5 число дійсних тарілок буде рівне  $25/0,5 = 50$  шт. Число теоретичних тарілок у відгінній частині колони на ділянці зміни концентрації спирту від 0,2% мол. до 19,3% мол. згідно з графіком становить  $n'' = 2,25$  т. т. На ділянці зміни концентрації спирту від  $x = 0,002\%$  мол. до  $x_n = 0,2\%$  мол. при  $k = 13$  число теоретичних тарілок визначиться за формулою:

$$n' = \frac{\lg \left[ 1 + \frac{0,2}{0,002} \left( \frac{13 \cdot 130}{221,3} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{13 \cdot 130}{221,3}} - 1 = 2,2 \text{ т. т.} \quad (2.9)$$

Загальне число теоретичних тарілок для відгінної частини колони дорівнює:

$$n_g = n' + n'' = 2,2 + 2,25 = 4,45$$

При к.к.д тарілок 0,5 їх число у відгінній частині складатиме:

$$n_g = \frac{4,45}{0,5} = 9 \text{ шт.}$$

Одну тарілку кубової частини колони відкидаємо, тоді  $n_b = 8$  шт. Для сталої роботи колони приймаємо  $n_b = 16$  шт.

Загальне число тарілок в ректифікаційній колоні складе:

$$n = n_k + n_g = 50 + 16 = 66 \text{ шт.} \quad (2.10)$$

Тип тарілок – багатоковпачкові.

По формулі Кіршбаума визначаємо швидкість пари в колоні

$$w_n = \frac{A}{\rho_n^m} = \frac{0,7}{1,5^{0,5}} = 0,6 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.11)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо  $w_n = 0,6 \text{ м/с}$ ,

де  $A$  і  $m$ - коефіцієнти, що залежать від відстані між тарілками

Для  $h=170 \text{ мм}$  приймаємо  $A=0,7$  і  $m=0,5$ .

Об'єм парів, що піднімається по колоні визначаємо по формулі:

$$V = \frac{P \cdot 22,4(273+t) p_0}{\mu_{cp} \cdot 273 \cdot p_1},$$

де  $P$  – кількість водно спиртової пари, кг/год;

$t$  – температура пари, ° К;

$p_1$  – тиск пари, ат;

$p_0$  – атмосферний тиск, ат.

(2.12)

$$V = 5095 \cdot 22,4(273+78,3) \cdot 1/42,1 \cdot 273 \cdot 1,03 = 3400 \text{ м}^3/\text{год.} = 0,944 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр ректифікаційної колоні визначаємо по формулі:

$$D = (V/0,785 \cdot w_n)^{0,5} = (0,94/0,785 \cdot 0,6)^{0,5} = 1,4 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колоні  $D = 1400 \text{ мм}$

## 2.3 Конструктивні розрахунки апарата

Висоту від верхньої тарілки до кришки колоні обчислюємо за формулою:

$$h_1 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 170 = 255 \text{ мм} \quad (2.13)$$

Відстань від днища колоні до нижньої тарілки

$$h_2 = (0,75 \dots 1) D = (0,75 \dots 1) \cdot 1400 = (1125 \dots 1400) \text{ мм} \quad (2.14)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо 1200 мм.

Висота кришки колони

$$h_2 = (0,3...0,4)D = (0,3...0,4) \cdot 1400 = (420...560)_{мм}$$

Приймаємо  $h_3 = 500_{мм}$ .

Приймаємо висоту опори колони  $h_4 = 2000_{мм}$ .

Загальна висота ректифікаційної колони

$$H = (Z_{заг} - 1) \cdot h + h_1 + h_2 + h_3 = (66 - 1) \cdot 170 + 255 + 1200 + 500 + 2000 = 15005_{мм} \quad (2.15)$$

Приймаємо висоту  $H = 15000_{мм}$ .

Розрахунок ковпачкової тарілки

Загальна площа поперечного перерізу горловини складає 12% від площі поперечного перерізу колони, тобто

$$f = (\pi D^2 / 4) \cdot 0,12 = (3,14 \cdot 1,5^2 / 4) \cdot 0,12 = 0,21_{м^2} \quad (2.16)$$

Приймаємо діаметр горловини ковпачка рівною  $d_2 = 57_{мм}$ , тоді площа поперечного перерізу однієї горловини

$$f = (\pi D^2 / 4) = (3,14 \cdot 0,057^2 / 4) = 2,56 \cdot 10^{-3} м^2$$

Тоді число ковпачків на одній тарілці складе

$$Z_k = f / f_1 = 0,21 / 2,56 \cdot 10^{-3} = 80_{шт} \quad (2.17)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо висоту між верхньою кришкою горловини і ковпачком із співвідношення

$$\pi d_2^2 / 4 = \pi d_2 h_1 \quad (2.18)$$

Звідки

$$h_1 = \pi d^2 / (\pi d_2 4) = 15 \text{ мм}$$

Величину внутрішнього діаметра ковпачка визначимо з рівняння:

$$\pi d_2^2 / 4 = \pi d_B^2 / 4 - \pi (d_2 - 2\delta_1)^2 / 4 \quad (2.19)$$

Приймаємо  $\delta_1 = 1,5 \text{ мм}$  і отримуємо  $d_B = 80 \text{ мм}$ .

Приймаємо  $\delta_1 = 2 \text{ мм}$  і визначаємо

$$d_3 = 80 + 2 \cdot 2 = 84 \text{ мм}$$

Периметр ковпачка дорівнює

$$P = \pi d_3 = 3,14 \cdot 84 = 263 \text{ мм} \quad (2.20)$$

Висоту прорізів приймаємо 20 мм. Ширина прорізу складає 3 мм.

Площа однієї прорізі  $3 \cdot 20 = 60 \text{ мм}^2$

Загальна площа прорізів на ковпачку

$$\pi d_2^2 / 4 = 3,14 \cdot 57^2 / 4 = 2550 \text{ мм}^2$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Число прорізів дорівнює  $2550/60=42$

Висота розташування прорізів над рівнем тарілки становить

$$h_4 = 3\delta_1 = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ мм} \quad (2.21)$$

Ковпачки розміщені в шахматному порядку по тарілці. Відстань між осями ковпачків приймаємо 112мм. Тоді відстань між ковпачками дорівнює 24 мм, центральний кут для країв єливної перегородки дорівнює  $90^\circ$ .

Визначаємо висоту рідини над зливною перегородкою з формули

$$V_1' = 1,8l \cdot \Delta h^{3/2}, \quad (2.22)$$

де  $V_1' = 1,98/962 = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}$  - пропускна можливість стакану (прийнято з матеріального балансу ректифікаційної колони).

$l = 1,4 \text{ м}$  - периметр зливу (визначений по будові тарілок в масштабі та куту  $\alpha = 90^\circ$ ).

$\Delta h$  - висота рідини над зливною перегородкою

Тоді:

$$\Delta h = \sqrt[3]{(V_1' / (1,8 \cdot 1,4))^2} = \sqrt[3]{(0,002 / (1,8 \cdot 1,05))^2} = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм} \quad (2.23)$$

Відповідно прийнятому раніше, глибина барботажа складе:

$$h_6 = 30 + 9 = 39 \text{ мм}$$

Приймаємо, що прорізи ковпачків відкриті на  $2/3$  їх висоти, тоді загальна висота барботажа на тарілці

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta h + 1/3h + 39 = 9 + 1/3 \cdot 20 + 39 = 57 \text{ мм}$$

Приймаємо 60мм.

Висота зливної перегородки

$$h_3 = 60 - 10 = 50 \text{ мм}$$

Для стікання флегми з тарілок на тарілку встановлюємо зливні стакани. Виступ над площиною тарілки встановлюємо 5мм. При швидкості руху в стакані 0,1 м/с, його діаметр складе

$$d_c = \sqrt{V'_1 / (0.785 \cdot W_2)} = \sqrt{0.002 / (0.785 \cdot 0.1)} = 0.14 \text{ м} \quad (2.24)$$

Приймаємо для кращого зливу два стакана діаметром 115мм.

Відстань хвоста стакана від поверхні тарілки приймаємо 30мм.

Висоту горловини приймаємо на 5мм більше висоти зливної перегородки, тобто

$$h_2 = 55 + 5 = 55 \text{ мм}$$

Загальна висота ковпачка складе

$$h_2 + h_1 + \delta_2 = 55 + 15 + 2 = 72 \text{ мм}$$

Діаметри патрубків визначаються по формулі

$$d_{II} = 1.13 \sqrt{G / (\rho v)} = 1.13 \sqrt{V' / v}, \text{ м} \quad (2.25)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

де  $G_1$  - масова витрата продукту в патрубку, кг/с

$V'$  - об'ємна витрата продукту, м<sup>3</sup>/с

$\rho$  - густина продукту, кг/м<sup>3</sup>

$v$  - швидкість руху продукту в патрубку

Діаметр патрубка для відведення водно-спиртових парів на дефлегматор,  
при  $v_1=20$ м/с та  $\rho_{II}=0,926$ кг/м<sup>3</sup>

$$D_1 = 1,13\sqrt{(1,4/(0,926 \cdot 20))} = 0,31\text{м} \quad (2.26)$$

Приймаємо  $d_1 = 350$ мм.

Діаметр патрубка для відведення спирту-ректифікату:

$$d_{II1} = 1,13\sqrt{G_1/(\rho v)}, \text{м}, \quad (2.27)$$

де  $G_1=998$  кг/год= $0,28$ кг/с - з матеріального балансу;

$$d_{II1} = 1,13\sqrt{0,28/(820 \cdot 0,5)} = 0,03\text{м}.$$

Приймаємо  $d_1 = 50$ мм.

Діаметр патрубка для підводу епюрату з епюраційної колони, при умові

$$d_{II2} = 1,13\sqrt{G_2/(\rho v)}, \text{м} \quad (2.28)$$

де  $G_2=2839,6$  кг/год= $0,79$ кг/с – з матеріального балансу колони;

$\rho = 943$ кг/м<sup>3</sup> -густина епюрату.

$$d_{II2} = 1,13\sqrt{0,79/(943 \cdot 0,2)} = 0,073.$$

Приймаємо  $d_{n2} = 80$ мм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр патрубкa для відводу лютера з ректифікаційної колони, при умові

$$d_{п2} = 1,13\sqrt{G_3 / (\rho v)}, м \quad (2.29)$$

де  $G_3=1792,6$  кг/год= $0,5$ кг/с – з матеріального балансу колони;

$\rho = 999_{кг} / м^3$  -густина лютеру.

$$d_{п3} = 1,13\sqrt{0,5 / (999 \cdot 0,5)} = 0,04 м .$$

Приймаємо  $d_{п3} = 50 мм$ .

Діаметр патрубкa для підводу флегми при умові

$$d_{п2} = 1,13\sqrt{G_2 / (\rho v)}, м \quad (2.30)$$

де  $G_2=4990$  кг/год= $1,39$ кг/с – з матеріального балансу колони;

$\rho = 807_{кг} / м^3$  -густина флегми.

$$d_{п4} = 1,13\sqrt{1,39 / (807 \cdot 0,2)} = 0,105 .$$

Приймаємо  $d_{п2} = 120 мм$ .

Діаметр патрубкa для відводу сивушного спирту з ректифікаційної колони,  
при умові

$$d_{п5} = 1,13\sqrt{G_5 / (\rho v)}, м \quad (2.31)$$

де  $G_5=9,98$  кг/год= $0,003$ кг/с – з матеріального балансу колони;

$\rho = 910_{кг} / м^3$  -густина лютеру.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{п5} = 1,13\sqrt{0,003/(910 \cdot 0,1)} = 0,0055 \text{ м}.$$

Приймаємо  $d_{п5} = 20 \text{ мм}.$

Діаметр патрубка для відводу парів сивушного масла з ректифікаційної колони, при умові

$$d_{п6} = 1,13\sqrt{G_6 / (\rho v)}, \text{ м} \quad (2.32)$$

де  $G_6 = 17,76 \text{ кг/год} = 0,005 \text{ кг/с}$  – з матеріального балансу колони;

$\rho = 1,7 \text{ кг/м}^3$  -густина парів.

$$d_{п6} = 1,13\sqrt{0,005/(1,7 \cdot 15)} = 0,016 \text{ м}.$$

Приймаємо  $d_{п6} = 20 \text{ мм}.$

Діаметр патрубка для підводу гріючої пари до ректифікаційної колони, при умові

$$d_{п7} = 1,13\sqrt{G_7 / (\rho v)}, \text{ м} \quad (2.33)$$

де  $G_7 = 2350 \text{ кг/год} = 0,653 \text{ кг/с}$  – з матеріального балансу колони;

$\rho = 1,622 \text{ кг/м}^3$  -густина пари.

$$d_{п7} = 1,13\sqrt{0,653/(1,622 \cdot 20)} = 0,16 \text{ м}.$$

Приймаємо  $d_{п6} = 200 \text{ мм}.$

Діаметр патрубка для відводу конденсату гріючої пари з ректифікаційної колони, при умові

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{п8} = 1,13\sqrt{G_8 / (\rho v)}, м \quad (2.34)$$

де  $G_8=2350$  кг/год= $0,653$ кг/с – з матеріального балансу колони;

$\rho = 999$ кг/м<sup>3</sup> -густина лютеру.

$$d_{п8} = 1,13\sqrt{0,653/(999 \cdot 0,3)} = 0,053 м.$$

Приймаємо  $d_{п8} = 60$ мм.

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

Загальний опір тарілки складається [7]

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_p \quad (2.35)$$

де  $\Delta p_c$  - опір сухої тарілки, Па;

$\Delta p_p$  - опір рідини на тарілці, Па.

$$\Delta p = \sum \xi \cdot \omega_T^2 \cdot \gamma_n / 2, \quad (2.36)$$

де  $\sum \xi$  -сума коефіцієнтів місцевих опорів, для ковпачкових тарілок приймаємо 6;

$\omega_T$  - середня швидкість руху в ковпачкові, м/с. Приймаємо 7,6 м/с ;

$\gamma_n$  - середня густина пари в колоні,  $\gamma_n=1,27$ кг/м<sup>3</sup>.

$$\Delta p_c = 6 \cdot (7,6)^2 \cdot 1,27 / 2 = 220,07 Па$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір рідини на тарілці визначаємо за формулою

$$\Delta p_p = \gamma_p \cdot h \cdot g, \text{Па} \quad (2.37)$$

де  $\gamma_p$  - густина рідинної фази,  $\gamma_p = 819 \text{ кг/м}^3$ ;

$h$  - глибина барботажа,  $h \approx 0,055 \text{ м}$ .

$$\Delta p_p = 819 \cdot 0,055 \cdot 9,81 = 441,89 \text{ Па}$$

Тоді:

$$\Delta p = 220,07 + 441,89 = 661,96 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір колони складає

$$\Delta p_n = n \cdot \Delta p = 66 \cdot 661,96 = 43689,36 \text{ Па}$$

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

Проводимо у відповідності до [4]. В дефлегматорах встановлюються труби діаметром (25-38 мм). Тепло в них відводиться водою. Швидкість руху води в трубах приймається 0.5...1.5 м/с.

При конденсації спиртового пара високої концентрації (90% об.) температура конденсації залишається майже незмінною. При розрахунку поверхні теплопередачі дефлегматора теплове навантаження визначається в основному за кількістю тепла, що виділився при конденсації спиртового пара, що утворює флегму.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Практично ця величина складає не менше 98,,99,5%. На долю конденсатора залишається не більше 2...0,5% пари.

Температура води, що виходить із дефлегматора, приймається на 5...8. °C нижче температури конденсації.

Коефіцієнт теплопередачі для дефлегматорів може бути визначений за формулою [4]:

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \Sigma(\delta/\lambda) + 1/\alpha_2} \quad (2.38)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від гріючого теплоносія до стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·K);

$\delta$  - товщина окремого шару, стінки, м;

$\lambda$  - теплопровідність окремого шару стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·K);  $\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нагрівається теплоносія, Вт/(м<sup>2</sup>·K).

При цьому коефіцієнт тепловіддачі [Вт/(м<sup>2</sup>·K)] від конденсуючої пари до стінки ( $\alpha_1$ ) може бути визначений або по номограмі І. М. Ройтера та Г.Є. Руденко – Грицюк або за формулою [4]:

$$\alpha_1 = CA / \sqrt[4]{h(t_k - t_{cm})} \quad (2.39)$$

де С – дослідний коефіцієнт для вертикальних труб

C=1,33; для горизонтальних – 0,84;

A – коефіцієнт, що залежить від концентрації спиртового пара; при концентрації 96,2% об. A=2220; при 95,5% об. A=2250; при 88% об. A=2585;

h – висота вертикальних труб, м; для горизонтальних теплообмінників h дорівнює зовнішньому діаметру теплообмінних труб;

$t_k$ ,  $t_{cm}$  - відповідно температура конденсації і температура стінки, K.

Температура стінки визначається за формулою[4]:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$t_{cm} = t_{\kappa} - (K \Delta t / \alpha_1) \quad (2.40)$$

де  $\Delta t$  - середня різниця температур між паром і охолоджуючою водою;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Коефіцієнт тепловіддачі [Вт/(м<sup>2</sup>·К)] від стінки до води визначається по формулі[4]:

$$\alpha_2 = B(\omega^{0,8} / d_g^{0,2}) \quad (2.41)$$

де  $B$  – коефіцієнт, що залежить від температури води, при  $t=20^{\circ}\text{C}$   $B=1880$ , при  $40^{\circ}\text{C}$   $B=2808$ , при  $60^{\circ}\text{C}$   $B=2714$ ;

$\omega$  - швидкість руху води в трубах, м/с;

$d_g$  - внутрішній діаметр труб, м.

Площа поверхні теплопередачі визначається з основного рівняння теплопередачі :

$$F = Q / (\Delta t \cdot K), \quad (2.42)$$

де  $Q$  – кількість тепла, переданого через площу теплопередачі (теплове навантаження), Вт;

$\Delta t$  - середня різниця температур між теплоносіями, К;  $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Приймаємо горизонтальний дефлегматор зі сталевими (12X18H10T) трубками 32×2,5.

Швидкість охолоджуючої води в трубах  $\omega=1\text{ м/с}$ , температура початкова і кінцева відповідно:  $t'_g = 20^{\circ}\text{C}$  и  $t''_g = 70^{\circ}\text{C}$ .

Середню різницю температур визначаємо за формулою[5]:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{макс}} - \Delta t_{\text{мин}}}{2,31q \frac{\Delta t_{\text{макс}}}{\Delta t_{\text{мин}}}}; \quad (2.43)$$

$$\Delta t = \frac{58,5 - 8,5}{2,31q \frac{58,5}{8,5}} = 25,9^{\circ}\text{C}.$$

Попередньо задана температура стінки  $t_{\text{cm}} = 63^{\circ}\text{C}$ , тоді за формулою:

$$\alpha_1 = 0,84 \cdot 2220 / \sqrt[4]{0,032(78,5 - 63)} = 1560 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{K}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до води при середній температурі води  $t = (70 + 20) / 2 = 45^{\circ}\text{C}$  визначаємо за формулою:

$$\alpha_2 = 2407 (1,0^{0,8} / 0,027^{0,2}) = 4960 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{K}}$$

Коефіцієнт теплопередачі визначимо за формулою(2.38):

$$K = \frac{1}{1/1560 + 0,0025/17,5 + 1/4960} = 1015 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$$

Перевіримо температуру стінки:

$$t_{\text{cm}} = 78,5 - (1015 \cdot 25,9 / 1560) = 62^{\circ}\text{C},$$

Що задовільно збігається із заданою.

Необхідна площа поверхні теплопередачі визначається за формулою(2.30):

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$F = 6285 \cdot 10^3 / (25.9 \cdot 1015) = 239,1 \text{ м}^2$$

Приймаємо до установки 2 дефлегматора площею теплопередачі  $100 \text{ м}^2$  кожний.

При цьому витрати охолоджуючої води складають[4]:

$$W = \frac{Q}{C_b(t_{\text{в.к.}} - t_{\text{в.н.}})} = \frac{3100.5}{4,187(70 - 20)} = 9,7 \text{ кг/с} \quad (2.44)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

### 3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ ТА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки апарата, кришки

Проводимо за методикою[9].

Приймаємо розрахункові параметри, згідно до вимог експлуатації. За розрахункову температуру приймаємо максимально можливу температуру куба в робочому стані спиртової колони:  $t = 107^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,10\text{МПа}$  - збитковий.

Коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  - для стикової з двохстороннім проваром, яка виконана автоматичним і напівавтоматичним зварюванням при контролі швів довжині до 50%.

Основні розрахункові параметри:

Робоча температура середовища  $t = 89^{\circ}\text{C}$ .

Робоча температура стінки  $t = 100^{\circ}\text{C}$ .

Робочий тиск в апараті  $P = 0,102\text{ МПа}$ .

Вибраний матеріал апарата – сталь Х18Н10Т.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим збитковим тиском  $P > 0,07\text{МПа}$  згідно рекомендацій[9] складатиме:

$$P_p = 1,1p = 1,1 \cdot 0,102 = 0,1122\text{ МПа}. \quad (3.1)$$

Приймаємо стандартне значення  $0,2\text{ МПа}$

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно рекомендацій складає:

$$P_{np} = \max \left\{ \frac{1,5 P_p [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, P_p \right\}, \quad (3.2)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:  $[\sigma]_{20}, [\sigma]$  - допустима напруга для матеріала корпусу при розрахунковій температурі і 20°C, згідно рекомендацій [9] складає:

$$[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа},$$

$$[\sigma] = 153 \text{ МПа},$$

$$P_{np} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,25 \cdot 160 / 153}{0,2} \right\} = \max \left\{ \frac{0,39}{0,2} \right\} = 0,39 \text{ МПа}.$$

Розрахунок товщини стінки обечайки корпусу [9].

Товщина стінки циліндричної обечайки, навантаженої внутрішнім збитковим тиском визначається по формулі:

$$S_p = \max \left\{ \frac{\frac{P_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p}}{\frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_{np} \cdot \varphi - P_{np}}} \right\} \quad (3.3)$$

где  $\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва складає:  $\varphi = 0,9$ .

$$S_p = \max \left\{ \frac{\frac{0,1122 \cdot 1400}{2 \cdot 153 \cdot 0,9 - 0,2}}{\frac{0,39 \cdot 1400}{2 \cdot 153 \cdot 0,9 - 0,39}} \right\} = \max \left\{ \frac{1,12}{1,98} \right\} = 1,98 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки визначаємо по формулі:

$$S \geq S_p + C, \quad (3.4)$$

де:  $C$  - сума надбавок до розрахункової товщини стінки  $s$ , мм:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.5)$$

де  $c_1$  – надбавка для компенсації корозії и ерозії, мм;

$c_2$  – надбавка для компенсації нульового допуску, мм ( $c_2 = 0$  мм);

$c_3$  – технологічна надбавка, мм ( $c_3 = 0$  мм).

Надбавка для компенсації корозії и ерозії  $c_1$ , мм:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.6)$$

де  $\Pi$  – проникність середовища в матеріал, мм/рік ( $\Pi = 0,1$  мм/рік);

$\tau$  – термін служби апарата, роки ( $\tau = 10$  років).

$$c_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм}$$

$$s = 1,98 + 1,0 = 2,98 \text{ мм}$$

Приймаємо  $S = 0,008$ м.

При цьому допустимий внутрішній збитковий тиск становитиме:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \quad (3.7)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 153 \cdot 0,9 \cdot (8-2)}{1400+(8-2)} = 1,16 \text{ МПа.}$$

Умова міцності має вид:

$$P < (p) \quad (3.8)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$0,39 \text{ МПа} < 1,16 \text{ МПа},$$

Таким чином, умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища[9].

Номінальну товщину стінки днища (кришки), навантажених внутрішнім збитковим тиском визначимо по формулі:

$$S_p = \max \left\{ \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_p}, \frac{P_{np} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{np} \cdot \varphi - 0,5 \cdot p_{np}} \right\} \quad (3.9)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва складає:  $\varphi=0,9$ .

R-радіус кривизни у вершині еліптичного днища  $R=D$ .

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,1122 \cdot 1400}{2 \cdot 153 \cdot 0,9 - 0,2}, \frac{0,39 \cdot 1400}{2 \cdot 153 \cdot 0,9 - 0,39} \right\} = \max \left\{ 1,12, 1,98 \right\} = 1,98 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки визначаємо по формулі:

$$S \geq S_p + C, \quad (3.10)$$

де:  $c$  -сума надбавок до розрахункової товщини стінки  $c$ , мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.11)$$

де  $c_1$  — надбавка для компенсації корозії и ерозії, мм;

$c_2$  — надбавка для компенсації нульового допуску, мм ( $c_2 = 0$  мм);

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c_3$  – технологічна надбавка, мм ( $c_3 = 0$  мм).

Надбавка для компенсації корозії и ерозії  $c_1$ , мм;

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.12)$$

де  $\Pi$  – проникність середовища в матеріал, мм/рік ( $\Pi=0,1$  мм/рік);

$\tau$  – термін служби апарата, роки ( $\tau=10$  років).

$$c_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм}$$

$$s = 1,98 + 1,0 = 2,98 \text{ мм}$$

Приймаємо  $S=0,008$ м.

При цьому допустимий внутрішній збитковий тиск становитиме:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \quad (3.13)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 153 \cdot 0,9 \cdot (8-2)}{1400+(8-2)} = 1,16 \text{ МПа.}$$

Умова міцності має вид:

$$P < (p) \quad (3.14)$$

$$0,39 \text{ МПа} < 1,16 \text{ МПа,}$$

Таким чином, умова міцності виконується.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання[9]

Вихідні дані для розрахунку:

Тип фланця	- плоский приварний
Температура фланця	- $t_{\phi} = t_p = 90^{\circ}\text{C}$ .
Болтів	- $t_{\phi} = 0,97 \cdot t_{\phi} = 88^{\circ}\text{C}$ .
Матеріал фланця	- сталь 12X18H10T
Болтів	- сталь 35 [8]

Напруга, що допускається:

- для матеріалу болтів

При  $t = 20^{\circ}\text{C}$   $[\sigma]_{620} = 130 \text{ МПа}$  [8]

При  $t = 88^{\circ}\text{C}$   $[\sigma]_{688} = 127 \text{ МПа}$  [8]

- для матеріалу фланця

При  $t = 20^{\circ}\text{C}$   $[\sigma]_{\phi 20} = 160 \text{ МПа}$  [8]

Модуль поздовжньої пружності для матеріалу:

- болтів  $E_{\phi} = 1,92 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  [8];

- фланця  $E_{\phi} = 2,00 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  [8];

Коефіцієнт лінійного розширення для матеріалу:

- болтів  $\alpha_{\phi} = 11,35 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$  [8];

- фланця  $\alpha_{\phi} = 11,65 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$  [8];

Параметри фланцевого з'єднання [9]:

$D = 1400 \text{ мм};$	$D_3 = 1446 \text{ мм};$
$P_y = 0,3 \text{ МПа};$	$h = 35 \text{ мм};$
$D_{\phi} = 1530 \text{ мм};$	$S = 8 \text{ мм};$
$D_6 = 1430 \text{ мм};$	$d = 23 \text{ мм};$
$D_1 = 1448 \text{ мм};$	$Z_6 = 44;$
$D_2 = 1460 \text{ мм};$	$H \geq 150 \text{ мм}.$

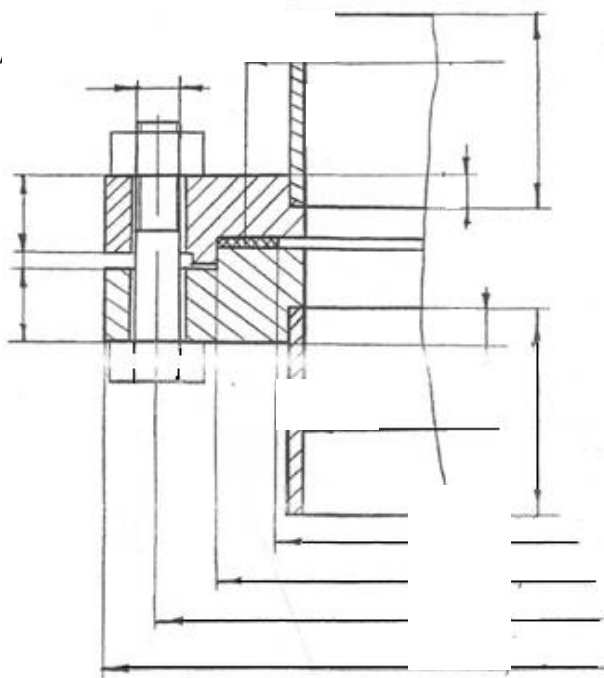


Рисунок 3.2 Фланцеве з'єднання

Матеріал прокладки - пароніт по ГОСТ 481.71

Параметри прокладки [8, таб.13,14 і таб.13.28]

$D = 1400$  мм;

$q = 20$  МПа ;

$D_{\Pi} = 1447$  мм;

$[q] = 130$  МПа;

$d_{\Pi} = 1408$  мм;

$E_{\Pi} = 2000$  МПа;

$S_{\Pi} = 2$  мм;

$B_{\Pi} = 20$  мм

$m = 2.5$ ;

Ставлення більшої товщини всередині фланця до меншої для плоских приварних фланців  $\beta = 1$

Ефективна ширина прокладки

$$B_E = 0,5 B_{\Pi} \quad (3.15)$$

$$B_E = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ мм}$$

Середній діаметр прокладки

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - B_{\text{п}} \quad (3.16)$$

$$D_{\text{сп}} = 1447 - 20 = 1427 \text{ мм} \quad (3.17)$$

Для знаходження умов податливості фланця попередньо знайдемо допоміжні величини

$$K = \frac{D_{\text{ф}}}{D} \quad (3.18)$$

$$K = \frac{1430}{1400} = 1,1$$

$$\psi_1 = 1,28 \lg K \quad (3.19)$$

$$\psi_1 = 1,28 \lg 1,1 = 0,052$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.20)$$

$$\lambda = \frac{0,045}{\sqrt{1,2 \cdot 0,008}} = 0,43$$

$$j = \frac{h}{s} \quad (3.21)$$

$$j = \frac{45}{8} = 5,6$$

$$\omega = [1 + 0,9\lambda(1 + \psi_1 j^2)]^{-1} \quad (3.22)$$

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,43(1 + 0,052 \cdot 5,6^2)]^{-1} = 0,4$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$T = \frac{K^2(1+8.55\lg K)-1}{(1.05+1.945K^2)(K-1)} \quad (3.23)$$

$$T = \frac{1.1^2(1 + 8.55\lg 1.1) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot 1.1^2)(1.1 - 1)} = 1.877$$

$$\psi_1 = \frac{K+1}{K-1} \quad (3.24)$$

$$\psi_1 = \frac{1.1 + 1}{1.1 - 1} = 21$$

Тоді кутова піддатливість фланця

$$y_{\phi} = \frac{[1-\omega(1+0,9)\lambda]\psi_2}{h^3 E_{\phi}} \quad (3.25)$$

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,4(1 + 0,9) \cdot 0,36] \cdot 21}{0,045^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,95 \text{ 1/МН} \cdot \text{м}$$

Лінійна піддатливість прокладки

$$y_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot B_{\Pi} \cdot E_{\Pi}} \quad (3.26)$$

$$y_{\Pi} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,427 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

Розрахункова довжина болта

$$l_{\phi} = 2h + S_{\Pi} + 0,28d \quad (3.27)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$l_6 = 2 \cdot 45 + 2 + 0,2 \cdot 23 = 97 \text{ мм}$$

Лінійна піддатливість болтів

$$y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot Z_6} \quad (3.28)$$

де  $f_6 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  - площа поперечного перерізу болтів ; [8, табл 13.27].

$$y_6 = \frac{97 \cdot 10^{-3}}{1,92 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 44} = 3,01 \cdot \frac{10^{-5} \text{ м}}{\text{МН}} \quad (3.29)$$

Допоміжні величини для розрахунку навантажень

$$A = [16 \cdot 10^{-6} + 3,01 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 1,95(1,29 - 1,227)^2]^{-1} = 255 \quad (3.30)$$

$$B = y_\phi \cdot (D_6 - D - S) \quad (3.31)$$

$$B = 1,95 \cdot (1,43 - 1,2 - 0,008) = 0,16$$

$$\gamma = A \cdot y_6 \quad (3.32)$$

$$\gamma = 255 \cdot 3,01 \cdot 10^{-5} = 0,076$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$\alpha = A[y_6 + 0,5B(D_6 - D_{\text{сп}})] \quad (3.33)$$

$$\alpha = 255[3,01 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,16(1,43 - 1,427)] = 1,29$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навантаження, що діє на фланцеві з'єднання від внутрішнього тиску

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P \quad (3.34)$$

$$Q_g = 0,785 \cdot 1,427^2 \cdot 0,12 = 0,19 \text{ МН}$$

Реакція прокладки в робочих умовах

$$R_{\Pi} = 2\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot m \cdot P \quad (3.35)$$

$$R_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,427 \cdot 0,01 \cdot 2,5 \cdot 0,12 = 0,026 \text{ МПа}$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_6 \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_6 \cdot t_6) \quad (3.36)$$

$$Q_t = 0,0076 \cdot 44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,92 \cdot 10^5 (11,65 \cdot 10^{-6} \cdot 90 - 11,35 \cdot 10^{-6} \cdot 88) \\ = 0,00075 \text{ МН}$$

Болтове навантаження в умовах монтажу

$$P_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha Q_g + R_{\Pi} \\ \pi D_{\text{сп}} b_E q \\ 0,4[\sigma]_{620} Z_6 f_6 \end{array} \right\} \quad (3.37)$$

$$P_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,29 \cdot 0,19 + 0,026 \\ 3,14 \cdot 1,427 \cdot 0,01 \cdot 20 \\ 0,4 \cdot 130 \cdot 44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,27 \\ 0,89 \\ 0,04 \end{array} \right\} = 0,89$$

Болтове навантаження в робочих умовах

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$P_{62} = P_{61} + (1 - \alpha) \cdot Q_g + Q_1 \quad (3.38)$$

$$P_{62} = 0,89 + (1 - 1,29) \cdot 0,19 + 0,0075 = 0,9526 \text{ МН}$$

Наведені згинальні моменти в діаметральному перетині фланця

$$M_{01} = 0,5P_{61} \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) \quad (3.39)$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [P_{62}(D_6 - D_{\text{сп}}) + Q_g \cdot (D_{\text{сп}} - D - S)] \frac{[\sigma]_{\phi 20}}{[\sigma]_{\phi 90}} \quad (3.40)$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [0,89 \cdot (1,43 - 1,427) + 0,14 \cdot (1,427 - 1,4 - 0,008)] \frac{160}{152}$$

$$M_{02} = 0,00266 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Умова міцності болтів

$$\frac{P_{61}}{Z_6 f_6} \leq [\sigma]_{620} \text{ и } \frac{P_{62}}{Z_6 f_6} \leq [\sigma]_{688}$$

$$\frac{0,95}{44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 91,8(\text{МПа}) < 130 \text{ МПа}$$

$$\frac{0,95}{44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 91,8(\text{МПа}) < 127 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується

Умова міцності прокладки

$$\frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot B_{\text{П}}} \leq [q]$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\frac{0.89}{3.14 \cdot 1.427 \cdot 0.02} = 9,93(\text{МПа}) < 130 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Максимальна напруга в перетині  $S_1$  фланця спостерігається в місці з'єднання втулки з площиною фланця

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega}{D^* \cdot (S - c)^2} \quad (3.41)$$

де:

$$M_0 = \max \left\{ \frac{M_{01}}{M_{02}} \right\} = \max \left\{ \frac{0.024}{0.028} \right\} = 0.028 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

де  $D^*$  - приймається в залежності від величини

$$20 \cdot S = 20 \cdot 0,01 = 0,2; \text{ т.к. } D > 20 \cdot S, \text{ то } D^* = D$$

$$\sigma_1 = \frac{1,277 \cdot 0,028 \cdot 0,4}{1,4 \cdot (0,008 - 0,004)^2} = 176,57 \text{ МПа}$$

З'єднання втулки з обичайкою або днищем.

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \sigma_1 \quad (3.42)$$

де:  $\psi_3$  знаходимо за [8, рис. 13.18]

Напруга в кільці фланця від дії  $M_0$

$$\sigma_k = \frac{M_0 [1 - \omega(1 + 0,9\lambda)] \psi_2}{D h^2} \quad (3.43)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$\sigma_k = \frac{0.028[1 - 0.4 \cdot (1 + 0.9 \cdot 0.36)] \cdot 21}{1.4 \cdot 0.045^2} = 84,86 \text{ МПа}$$

Напруга у втулці фланця від внутрішнього тиску:

- тангенціальне

$$\sigma_x = \frac{p_d}{2(s-c)} \quad (3.44)$$

$$\sigma_x = \frac{0,12 \cdot 1,4}{2(8 - 0,4) \cdot 10^{-3}} = 11,67 \text{ МПа}$$

- меридіальне

$$\sigma_y = \frac{p_d}{4 \cdot (s-c)} \quad (3.45)$$

$$\sigma_y = \frac{0,12 \cdot 1,4}{4 \cdot (8 - 0,4) \cdot 10^{-3}} = 5,83 \text{ МПа}$$

Умова міцності фланця:

- в перетині  $S_1$

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_k^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_k} \leq [\sigma]_{\phi S_1} \quad (3.46)$$

$$\sqrt{176,57^2 + 84,86^2 - 176,57 \cdot 84,86} = 94,83 \text{ МПа}$$

- в перетині  $S_0$

$$\sqrt{(\sigma_1 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 (\sigma_1 + \sigma_y) \sigma_x} \leq [\sigma]_{\phi S_1} \quad (3.47)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\sqrt{(176,57 + 5,83)^2 + 10^2 \cdot (176,57 + 5,83) \cdot 11,67} = 496,1 \text{ МПа} < [\sigma]_{\phi S_1}$$

Кут повороту фланця

$$\theta = \frac{\sigma_k D}{E_{\phi} \cdot h} \leq [0] \quad (3.48)$$

Для плоских приварних фланців

$$[\theta] = 0,013 \text{ рад}$$

$$\theta = \frac{84,86 \cdot 1,4}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,045} = 0,012 < 0,013 \quad (3.49)$$

Умова виконується

### 3.3 Розрахунок та вибір опори апарата

Вертикальні апарати встановлюють на стійках: при відношенні  $H/D > 5 \left( \frac{8,98}{1,2} = 7,48 \right)$  апарати встановлюють на так звані бічні опри (циліндричні або конічні). Висота циліндричної опори повинна бути не менше 600 мм.

Підбір опори здійснюємо при мінімальному, максимальному навантаженні на опори.

Мінімальне приведене навантаження – сила від ваги пусого апарату

$$Q_{min} = (M_k + M_T) \cdot g \quad (3.50)$$

де  $M_k$  – маса колони, кг;

$M_T$  – маса тарілок, кг.

$$M_k = (V_{\text{ц}} + 2V_{\text{д}}) \cdot \rho \quad (3.51)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

де  $\rho$  – густина матеріалу колони;

$V_{\text{ц}}$  – об'єм циліндричної частина колони;

$V_{\text{д}}$  – об'єм днища/кришки.

$$V_{\text{ц}} = S_{\text{ц}} H_{\text{ц}} \quad (3.52)$$

де  $S_{\text{ц}}$  – площа поперечного перерізу обичайки;

$H_{\text{ц}}$  – висота циліндричної частини.

$$S_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.53)$$

$$V_{\text{ц}} = 0,785 \cdot 15 \cdot [(1,4 + 0,008 \cdot 2)^2 - 1,4^2] = 0,53 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{д}} = \pi \left[ (H_g + S_1)^2 \left( R + S_1 - \frac{H_g + S_1}{3} \right) - H_g^2 \left( R - \frac{H_g}{3} \right) \right]$$

$$V_{\text{д}} = 3,14 \left[ (0,3 + 0,008)^2 \left( 1,4 + 0,008 - \frac{0,3 + 0,008}{3} \right) - 0,3^2 \left( 1,4 - \frac{0,3}{3} \right) \right] = 0,0271 \text{ м}^3$$

$$M_{\text{к}} = (0,53 + 2 \cdot 0,0271) \cdot 7850 = 4586 \text{ кг}$$

$$M_{\text{т}} = m_{\text{т}} \cdot n \quad (3.54)$$

де  $m_{\text{т}}$  - маса тарілки,  $m_{\text{т}}=68,6$  кг

$$M_{\text{т}} = 66 \cdot 68,6 = 4528 \text{ кг}$$

$$Q_{\text{min}} = (4586 + 4528) \cdot 9,81 = 89408 \text{ Н}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{min} = 0,08941 \text{ МН}$$

Максимальне приведенне навантаження – з врахуванням ваги рідини

$$M_p = V_p \cdot \rho_p \quad (3.55)$$

$$V_p = 0,785 D^2 \cdot H_{\text{ц}} + \pi H_{\text{д}}^2 \left( R - \frac{H_{\text{д}}}{3} \right) \quad (3.56)$$

$$V_p = 0,785 \cdot 1,4^2 \cdot 15 + 3,14 \cdot 0,3^2 \left( 1,4 - \frac{0,3}{3} \right) = 23,114 \text{ м}^3$$

$$M_p = 23,114 \cdot 1000 = 23114 \text{ кг}$$

$$Q_{max} = (Q_{min} + M_p) \cdot g \quad (3.57)$$

$$Q_{max} = (89408 + 23114) \cdot 9,81 = 877319 \text{ Н}$$

Тоді по даним таблиць для  $Q_{min}$  до 0,111 МН і  $Q_{max}$  до 1,47 МН вибираємо циліндричну опору.

Перевіримо міцність зварного з'єднання в місцях з'єднання корпусу з обичайною опори

$$\sigma = \frac{Q_{max}}{\pi D a_1} \leq \varphi \cdot \min\{[\sigma]_0; [\sigma]_к\} \quad (3.58)$$

де  $a_1$  – розрахункова товщина зварного шва;  $a_1 = 7$  мм;

$[\sigma]_0, [\sigma]_к$  - допустиме навантаження для матеріалу опори і колони;

$\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва;

$[\sigma]_0 = 136$  МПа для сталі В. Ст. 3

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$[\sigma]_k = 155 \text{ МПа}$  для сталі 12Х18Н10Т.

$$\varphi = 0,7$$

$$\sigma = \frac{877319}{3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,007} = 2,85 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 136 = 95,2 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА

### 4.1 Монтаж розробленого апарата

Монтаж ректифікаційної установки слід проводити в повній відповідності з монтажною схемою. При її розробці, особлива увага повинна бути звернена на підбір запірної арматури. На гарячих продуктопроводах рекомендується ставити виключно бронзові пробкові фланцеві крани з сальниковими ущільнювачами. На лінії подачі бражки, відводу барди, лютерної води із колони можуть бути поставлені бронзові задвижки при діаметрі трубопроводів  $> 100$  мм або пробкові крани при менших діаметрах.

Ліхтарі для спирту та побічних продуктів розташовують в одному місці, що добре освітлюється денним світлом, поблизу робочого місця апаратчика.

Важливим моментом при компоновці дефлегматора є правильний вибір відстані між ним і відповідною колоною. Коліно між колоною і дефлегматором бажано робити з плавним переходом (зварне із секторів), але можна і під прямим кутом. Мінімальна довжина горизонтальної частини труби орієнтовано може бути прийнята рівною 5-7 діаметрам (але не менше 1 метра).

При установці колони мінімальна висота фундаментна приймається рівною 0,6-0,8 м. Діаметр цоколя фундаменту приймається рівним  $D+400$  мм, де  $D$  – діаметр колони, мм.

Лист тарілки повинен бути плоским, місцеві випучини та кривизна не повинні перебільшувати 2 мм. Відхилення верхніх торців зливних стаканів або зливних порогів відносно тарілки допускається не більше  $\pm 2$  мм. Перенос ковпачків відносно площини тарілки, що вимірюється від верху прорізів, не повинен перебільшувати  $\pm 1$  мм.

Горизонтальність ковпачкових тарілок перевіряється по наливу води на верхню тарілку царги.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Установка дефлегматорів і конденсаторів повинна забезпечувати повний та вільний стік конденсату з них. Практично достатньо мати по висоті відстань 1,5 м між вихідним штуцером флегми і штуцером на верхній тарілці колони.

На монтажну площадку колони можуть поступати: у вигляді великих складальних одиниць; у вигляді окремих листових заготовок для корпусу апарата. Заготовкам подається потрібна форма і розмір разом з виконаними на заводі – виготовлювачі окремими вузлами, які входять в комплект поставки.

Монтаж апаратів цеху, розташованих, як правило, на міжповерхових перекриттях, заключається в установленні їх на фундамент у відповідності з вимогами п. 2.34 СНіП III-Г.10-66, з наступним під'єднанням технологічних трубопроводів і випробуванні на щільність.

Монтаж апаратів, які поставляються у вигляді укрупнених блоків і у вигляді заготовок, починають з виготовлення металічної основи. Остання монтується на фундаменті у відповідності з СНіП III-Г.10-66 і СНіП III-В.1-62. Металічна основа, встановлена з нахилом 1:100 в бік виходу технологічної і каналізаційної комунікації, повинна відповідати вимогам СНіП III-В.5-62.

Царги транспортують лебідками або краном за приварені з зовнішньої сторони монтажні скоби і встановлюють на днищі апарата царгу за царгою. Кришка подається на верхній пояс краном або лебідкою. Вона поступає на монтажну площадку у зібраному вигляді. Після завершення збирання корпусу апарата. перевіряють якість зварних швів і випробовують апарат на щільність, заповнюючи його водою. Ліквідувавши виявлені дефекти зварних швів приступають до монтажу допоміжних вузлів. Після зачистки, шліфовки і поліровки зварювальних швів у середині апарата проводять випробування на щільність корпусу апарата подачею води. Після монтажу відповідної труби і гідрозатвору, приварювання до днища колектора для технологічних і каналізаційних трубопроводів приступають до монтажу штуцерів для підводу компонентів живильного середовища.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Оскільки колона потребує мікробіологічної чистоти, уварювання штуцерів і патрубків повинна проводитися акуратно, з послідуною шліфовкою зварних швів.

Змонтований апарат після випробування на міцність і щільність здають по акту в експлуатацію.

Випробування на герметичність обладнання, що працює під атмосферним, надлишковим і зниженим тиском (вакуумом), проводять стисненим повітрям. Перед випробуванням з приміщення прибирають всі сторонні предмети, проводять прибирання приміщення, маркують обладнання і арматуру на трубопроводах.

Після гідравлічного або пневматичного випробування усувають всі нещільності і проводять випробування обладнання під навантаженням, тобто перевіряють роботу установки спочатку на водяній парі, а потім на бражці або спирті-сирцю.

## 4.2 Ремонт апарата

Ремонт ректифікаційної колони відбувається в такій послідовності:

1) Технічне обслуговування. Огляд стану всіх з'єднань корпусу, арматури, люків, тарілок, контрольно – вимірювальних приладів, очистка внутрішніх поверхонь тарілок, барботера, куба, перевірка стану, а при необхідності заміна зношених деталей, ущільнювачів, зборка, перевірка герметичності.

2) Ремонт поточний перший. Виконуються всі роботи ТО і, крім того, відбувається промивка внутрішніх поверхонь; ремонт або заміна зношених арматури, тарілок, стійок тарілок, стаканів, царг, фланцевих з'єднань; заміна зношених прокладок, кріплення; ремонт теплоізоляцій; збірка, випробування, покраска.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



3) Ремонт поточний другий. Виконуються всі роботи Т1 і, крім того, відбувається розборка і демонтаж усієї колони; перевірка товщини стінок методом незруйнованої дефектоскопії; повна заміна теплоізоляції.

Ремонт трубопроводу.

1) Технічне обслуговування. Огляд трубопроводів для виявлення нещільностей в зварних швах і фланцевих з'єднаннях; перевірка роботи конденсатовідвідників і теплового пункту; перевірка стану спиртоводовіддільників і спуск з них залишку; підтяжка кріплень рухомих і нерухомих опор трубопроводів; підтяжка сальників запірної арматури.

2) Ремонт поточний перший. Виконуються всі роботи ТО і відбувається заміна фланцевих прокладок; ремонт спиртоводовіддільників і запірної арматури; заміна сальникової набивки в арматурі.

3) Ремонт поточний другий. Виконуються всі роботи Т1 і відбувається заміна трубопроводів на окремих ділянках; ремонт теплоізоляції і антикорозійного покриття; гідравлічне випробування на щільність і міцність, покраска.

Ремонт капітальний. Виконуються всі роботи Т2 і відбувається демонтаж несправного і монтаж нового трубопроводу основних магістралей; вибіркова заміна арматури, фланцевих і сальникових компресорів, опор; відновлення термоізоляції і антикорозійного покриття.

До поточного ремонту входить такий об'єм робіт: перевірка на щільність усіх зварних швів, з'єднань і усунення виявлених дефектів; часткова заміна запірної арматури; очистка поверхні теплообміну від накипу; часткова заміна штуцерів різьбового з'єднання, заміна деформованих трубок; виправлення випинань в стінках апарата з накладенням допоміжних ребер жорсткості; перевірка і ремонт основ апарата і обслуговуючих площадок; усунення неуккомплектованості кришок; люків, фланцевих з'єднань кріпильними деталями; ремонт або заміна показників рівня рідини в апараті; часткова заміна

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трубопроводів; ремонт відводу і ємкості гідрозатвору; пофарбування металоконструкцій апарата; здача апарата в експлуатацію.

До капітального ремонту входить увесь об'єм робіт, що й при поточному ремонті, а також: заміна основи апаратів; заміна комплекту запірної апаратури; вирізка випуклих ділянок стінок апарата з приваркою накладок шириною не менше 250 мм; заміна обслуговуючих площадок, механічного фільтра; капітальний ремонт ємкості і відводу гідро затвору; випробування на міцність і здача в експлуатацію.

Ремонт трубопроводів і арматури. В трубопроводах в основному зустрічаються два види неполадок: 1) порушення герметичності, в результаті чого виникає витік рідини, повітря, газу; 2) поломка окремих деталей трубопроводу, фланців, муфт, шпильок і гайок.

Герметичність частіше всього порушуються в місцях з'єднання труб, у кранах і т.д. В деяких випадках появляються щілини в шовних трубах в результаті високого тиску газу або рідини, замерзання трубопроводу, наповненого рідиною, або від дії високої температури. Порушення герметичності в трубопроводах також від корозії. З'єднувальні частини трубопроводів ламаються в результаті необережного користування ними, а також від корозії.

Тріщини в трубопроводах видаляють зварюванням. Якщо труба пропускає рідину в багатьох місцях, особливо в результаті прогорання або корозії, її доцільно замінити новою. Замінюють також труби з тріщинами, якщо вони працюють під великим тиском, знаходяться під дією роз'їдаючих речовин або високої температури.

В місцях з'єднання труб протікання усувають підтягуванням (підгвинчуванням) фітінгів. Якщо таким шляхом протікання усунути не вдалося, з'єднання розбирають і збирають заново причому підганяють деталі і ставляють необхідне ущільнення – прокладки.

При пошкодженнях і нещільностях фланцевих з'єднань у результаті пошкодження прокладок має місце втрата тепла, що іноді призводить до

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

необхідності не запланованих ремонтів трубопроводів. Тому контроль за фланцевими з'єднаннями слід вести постійно і ретельно виявляти в кожній ділянці причини пошкоджень і нещільностей.

При роз'їданні фланців потрібно дотримуватися обережності, щоб не пошкодити їх обробленої поверхні. Матеріал замінних фланців вибирають однаковий (або близький) по хімічному складу з матеріалом труби, до якої його легше буде приварити.

Для збільшення терміну служби прокладок потрібно приділяти належну увагу правильного вибору сорту та якості прокладки в залежності від її призначення.

Прокладки у вигляді кілець повинні мати: 1) внутрішній отвір з діаметром, рівним внутрішньому діаметру трубопроводу або більше від нього на 1-2 мм; 2) зовнішній діаметр кільця повинен бути рівний діаметру кола описаного по внутрішнім кромкам болтових отворів фланця при таких розмірах полегшується центрування прокладки, що устатковується у фланцевому з'єднанні.

Перед установкою нової прокладки торцеві поверхні фланців ретельно очищають від залишків старої прокладки, бруду і корозії. Після заміни прокладок з'єднувати фланці труб можна, тільки перевіривши паралельність фланців. Болти потрібно затягувати рівномірно інакше можливий швидкий пробій прокладки. При цьому слід запевнитись в тому, що зварювання фланця з трубою непошкоджене, тобто відриву від кільця фланця.

Ні в якому випадку неможна допускати під час зборки фланців виправлення їх перекосу шляхом застосування болтів або шпильок. Під час заміни паропроводів необхідно слідкувати, щоб трубопровід мав постій нахил у бік руху конденсату, так як накопичення конденсату в трубопроводі гальмує прохід пару, що приводить до гідравлічних ударів і порушенню щільності у з'єднаннях.

Під час ремонту арматури проводять:

1) очистку внутрішніх поверхонь, сальникових коробок і фланців од накипу, нагару і грізї;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

- 2) притирання і при необхідності заміну ущільнюючих клапанів і гнізд;
- 3) заміну сальників ущільнення;
- 4) відновлення пошкоджених і спрацьованих деталей (тріщини в корпусах, погнуті шпінделі і т.д.).

Очистка. Для очистки деталі опускають на 5 – 8 годин у ванну, наповнену 10%- ним розчином соляної кислоти; потім їх промивають чистою водою, чистять металічною щіткою і насухо протирають чистою ганчіркою.

Наліт масла на внутрішніх стінках арматури конденсатної лінії, а також сліди корозії видаляють промивкою у кислоті. Прилиплі залишки м'якої набивки на стінках сальникових прокладках на фланцях відчищають шабером, потім фланці промивають керосином, сушать і щоб запобігти корозії покривають тонким шаром змазки.

Притирання арматури. Притирку клапанів і пробок до їх гнізда можна проводить наступним чином:

- а) безпосередньо притиранням робочих поверхонь однієї до другої;
- б) окремим притиранням клапанів на плитах-притирах і сідел на спеціальних притирах з обов'язковою перевіркою і доведенням у парі.

Робочі ущільнюючі поверхні засувок, не центровані одна відносно другої, підганяються шабруванням.

Для притирання ущільнень арматури рекомендується користуватися пастами ГОЙЯ і шліфувальними порошками. У якості змочувальних рідин під час притирання обачно використовують керосин, рослинне масло або суміш парафінового масла з мінералами. Притирку слід застосовувати тоді, коли глибина рисок, забоїн і других дефектів на ущільнених поверхнях не більше 0,05 мм; при великій глибині необхідно проводить проточку на станку.

Притирку зазвичай проводять в ручну. Можна застосовувати також електричні дрилі або свердлильні верстати. Повертають клапан або кран з права на ліво і з ліва на право, одночасно злегка тиснувши на нього. Після п'яти-сьми поворотів клапана виймають із гнізда і перевіряють, як піддаються ущільненню

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні притирання. Притирання вважається закінченим, коли обидві поверхні будуть рівномірно матовими, гладенькими і щільно прилягати одна до одної. Для перевірки притерту поверхню гнізда покривають тонким шаром фарби (зазвичай берлінською лазур'ю); клапан чисто витирають і опускають на пофарбовану поверхню гнізда. На всій притертій поверхні повинно відпечататись фарба. Не зафарбовані місця показують, що в них не було стискання між клапаном і гніздом. Це усувається подальшим притиранням. Випробування на герметичність обладнання, що працює під атмосферним, надлишковим і зниженим тиском (вакуумом), проводять стисненим повітрям. Перед випробуванням з приміщення прибирають всі сторонні предмети, проводять прибирання приміщення, маркують обладнання і арматуру на трубопроводах.

Після гідравлічного або пневматичного випробування усувають всі нещільності і проводять випробування обладнання під навантаженням, тобто перевіряють роботу установки спочатку на водяній парі, а потім на бражці або спирті-сирцю.

Колони, трубопроводи гріючої пари, гарячі продуктопроводи (крім продуктів, що ідуть на охолодження), які мають температуру стінки вище 45°C, обов'язково покривають теплоізоляцією. Товщина шару теплоізоляції знаходиться на основі техніко – економічного розрахунку або по нормативам.

Після монтажу, гідравлічного або пневматичного випробування проводиться підготовка установки до пуску. Проводять маркування запірної арматури на колекторі пари і води, пробних холодильників, контрольно – вимірювальних приладів, ліхтарів.

Апарати, що не були в роботі і пройшли ретельне очищення, на герметичність випробують стисненим повітрям.

Кожну колону, що входить в комплект установки, випробують разом з її дефлегматором і конденсатором. Перед випробуванням на всіх штуцерах колони встановлюють заглушки. До одного з штуцерів у виварній камері колони підключається трубопровід для подачі повітря від компресора. У виварній камері

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

колони і над верхньою тарілкою до штуцера в кришці колони чи до штуцера на паропроводі від колони до дефлегматора встановлюють пружинний манометр з циферблатом на тиск до 1,0 атм. Готують мильний розчин (розчиняють 0,5 кг мила в 5 л гарячої води). Драбини і решітки, встановлені під час збирання БРУ, рекомендується не знімати до повного завершення випробувань і пробного пуску БРУ на воді і парі.

Після вказаної підготовки колони до випробувань включають повітряний компресор і нагнітають стиснене повітря в колону до того часу, поки тиск за манометром в кубі колони і над її верхньою тарілкою не досягне 150 кПа (0,5 атм.).

Якщо при нагнітанні стисненого повітря тиск в колоні не створюється, це свідчить про те, що в колоні є великі нещільності, в які виходить повітря. Ці нещільності легко виявити по звуку, характерному для повітря, що виходить з отвору. В цьому випадку, не припиняючи подачу в колону стисненого повітря, знаходять і відмічають нещільності. Перед усуненням нещільностей подачу стисненого повітря в колону припиняють.

Після виявлення нещільностей тиск в апараті плавно знижують до атмосферного, після чого надійно усувають нещільності. Усунення дефектів і підтяжка з'єднань в апаратах, що знаходяться під тиском, заборонена. При пневматичному випробуванні заборонено обстукування або будь-які удари по корпусу апарата чи трубопроводу, що знаходяться під тиском.

Після усунення великих нещільностей поновлюють подачу повітря в колону і нагнітають його до того часу, поки надлишковий тиск в колоні не досягне 150 кПа (0,5 атм.). При досягненні вказаного тиску, припиняють подачу повітря в колону, всі фланцеві з'єднання колони і штуцерів, шви, заклепки за допомогою щітки покривають шаром мильної емульсії. У місцях незначного пропуску утворюються добре помітні мильні бульбашки.

Невеликі нещільності звичайно мають місце на фланцевих з'єднаннях, їх усувають додатковою підтяжкою болтів та заміною прокладок.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після усунення всіх виявлених нещільностей проводять повторне випробування стисненим повітрям. При повторному випробуванні необхідно мати на увазі, що навіть при повній відсутності пропусків повітря, відмічених появою мильних бульбашок, може мати місце незначне падіння тиску, що спостерігається за манометром, яке може бути обумовлене зміною температури і об'єму стисненого повітря в колоні.

Вимірювання початкового тиску і обчислення вказаного часу проводиться після вимірювання температур всередині і зовні апарату. Замір температури повітря в апараті повинен робитись або шляхом установки ртутних термометрів в апараті гільзи, або укріплення термометрів на поверхні апарату з надійною теплоізоляцією заповненої ртуттю частини термометра і місця його установки від зовнішнього середовища.

Апарат визнається таким, що витримав випробування на герметичність і придатним до експлуатації, якщо спад тиску за одну годину не перевищує 0,2% для знову встановлених апаратів і 0,5 % для апаратів, що підлягали повторному випробуванню. Результати випробувань апаратів і трубопроводів з вказанням початкових і кінцевих тисків, температур і тривалості випробувань заносяться у ремонтний журнал (карту) або спеціальний акт за підписом осіб, що проводять випробування.

Все обладнання ретельно промивають, залишки води випускають через спускні крани. Перевіряють правильність установки зливних стаканів, щільність закриття люків і лазів на колонах і додатковому обладнанні, ущільнення кришок дефлегматорів, конденсаторів та іншого теплообмінного обладнання. Перевіряють роботу і легкість відкриття запірної арматури.

Перед пуском установки пропускають воду на всі поверхні теплообміну (дефлегматори, конденсатори, холодильники), перевіряють надходження води на вказані теплообмінники і приступають до пропуску колон. Прогрів всіх колон установки, за виключенням колони кінцевого очищення, здійснюють при відкритій подачі пари в колони на барботери, вмонтовані у виварних камерах

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колон. Після повного пропуску установки переходять на закритий обігрів кип'ятильниками при їх наявності в схемі БРУ. Випробування на воді і парі установки БРУВАК-1.

Випробування проводять в такій послідовності. Спочатку відкривають арматуру на відповідних комунікаціях води від колектора до теплообмінній апаратурі і послідовно подають воду на всі поверхні теплообміну. Впевнившись в надходженні води на всі поверхні теплообміну), організовують подачу пару на колектор і приступають до підігріву колон.

Першою прогрівають ректифікаційну колону, її обігрівують подачею гострого пару з колектору на барботер у виварній камері колони. По мірі прогрівання колони спостерігають за величиною тиску (вакууму) в кубі колони і при його підвищенні до 65-70 кПа (-0,3 +0,35 кг/см ) стабілізують витрати пари, а при повному прогріві колони при необхідності змінюють витрату води на дефлегматор так, щоб конденсатор колони був прогрітий на 1/2 - 1/3. Одночасно здійснюють налагодження і включають в роботу контури регулювання витрат пари в колону і води на дефлегматор.

По мірі нагрівання колони і її роботи під паром спостерігають за рівнем рідини у виварній камері колони і при заповненні виварної камери на 1/3 -1/2 висоти організують відкачку рідини в напірний збірник. Одночасно налагоджують і включають в роботу прилади контуру стабілізації рівня у виварній камері колони.

Аналогічно ректифікаційній прогрівають епюраційну колону також подачею гострої пари з колектора на барботер в кубі колони. По мірі прогріву епюраційної колони ведуть спостереження за вимірюванням тиску (вакууму) і рівнем рідини в кубі колони. При заповненні кубу на 1/2 - 1/3 висоти відкривають арматуру на комунікації епюрату і організують відведення рідини з кубу епюраційної колони на 16 (живильну) тарілку ректифікаційної колони. При повному підігріві епюраційної колони і її дефлегматора стабілізують витрати пари в колону і води на дефлегматор. При цьому тиск (вакуум) в кубі колони встановлюють на рівні 60-65 кПа. Над верхньою тарілкою колони вибирають тиск

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64



в межах 45-50 кПа для забезпечення прогріву конденсатора колони на  $1/2 - 1/3$  його висоти.

Робота установки повинна тривати 6-8 год. при умові повного усунення всіх дефектів. В ході випробування виявляють і усувають всі дефекти монтажу, а внутрішню поверхню всіх елементів установки і комунікації пропарюють і промивають.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Управління охороною праці - це підготовка, прийняття та реалізація рішень по здійсненню організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності. Система управління охороною праці (СУОП) є складовою частиною загальної системи керування підприємством, установою. Управління охороною праці передбачає участь у цьому процесі майже всіх служб та підрозділів підприємства. Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів, яка спрямована на створення безпечних і здорових умов праці. Управління охороною праці підприємства або установи в цілому здійснює роботодавець, а в підрозділах (цехах, відділах, службах) керівники або головні фахівці. Координує всю цю діяльність служба охорони праці. Підпорядковується служба охорони праці безпосередньо власнику.

Система управління охороною праці підприємства (СУОП) включає службу охорони праці та керівництво підприємства і керується у своїй діяльності законодавством України про охорону праці і про працю, міжгалузевими і галузевими нормативними актами з охорони праці і Положенням про службу охорони праці.

Основними функціями управління охороною праці, що розробляє і втілює служба охорони праці, є:

1. Створення ефективної системи управління (СУОП), яка б сприяла удосконаленню діяльності кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи.

2. Здійснення оперативно-методичного керівництва роботою з охорони праці.

3. Розробка разом із структурними підрозділами заходів по забезпеченню норм безпеки, гігієни праці та виробничого середовища або їх підвищення (якщо

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

вони досягнуті), а також підготовка розділу "Охорона праці" колективного договору.

4.Розробка змісту та методики проведення інструктажу з питань охорони праці.

5.Забезпечення працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами.

6.Проведення паспортизації цехів, дільниць, робочих місць щодо відповідності їх вимогам безпеки.

7.Здійснення оперативного та поточного контролю за станом охорони праці на підприємстві.

8.Розробка перспективних та поточних планів роботи підприємства щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці.

9.Пропаганда та агітація безпечних і нешкідливих умов праці шляхом проведення консультацій, конкурсів, бесід, лекцій, наочної агітації та методичної роботи кабінету охорони праці.

10.Участь у комісіях по введенню в дію цехів, дільниць, нового устаткування або після капітального ремонту.

11.Забезпечення працюючих колективними та індивідуальними засобами захисту від шкідливих та небезпечних чинників виробництва, лікувально-профілактичним харчуванням, миючими засобами, санітарно-побутовими приміщеннями, надання передбачених законодавством пільг і компенсацій, пов'язаних із важкими і шкідливими умовами праці. У відділенні, що проектується повинні дотримуватися наступних заходів безпеки:

- Робота браго-ректифікаційних і ректифікаційних установок, якщо є пропуски пари чи рідини у зварних або фланцевих з'єднаннях, люках, заклепках чи штуцерах, не допускається.

- На паропроводі, який підводить пару у відділення браго-ректифікації обладнуються автоматичні регулювальні пристрої, що виключають можливість подання пари в апарати з тиском вище встановленої величини.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Усі колони браго ректифікаційних і ректифікаційних установок, які працюють при атмосферному тиску, знизу й згори мусять обладнуватися вакуум-переривниками. Установлення запірних пристроїв між установками і вакуумними переривниками не допускається. У браго-ректифікаційних установках, колони які працюють під тиском нижче атмосферного, встановлюється загальний вакуум-переривник на комунікації між барометричним конденсатором і вакуум-насосом.

- Для уловлювання спиртової пари, яка виходить з повітряних витяжок установок, повинні встановлюватися спиртові уловлювачі.

- Повітряні витяжки мусять бути споряджені вогневими запобіжниками. Не допускається скидати рідини, які містять спирт у бродильні установи.

- Електроустаткування і електроосвітлення у

- відділенні браго - ректифікації має бути виконано у відповідності до вимог ПУЕ. Корпуси електродвигунів та іншого електроустаткування, спиртових приймальників, мірники мають бути заземлені згідно вимог.

- У приміщенні відділення браго-ректифікації мусить застосовуватися інструмент, який виключає іскроутворення.

- У приміщенні відділення браго - ректифікації треба передбачити:

а) напірний бак з півгодинним запасом води на випадок припинення подавання її з водопровідної мережі;

б) аварійне освітлення;

в) телефонний зв'язок;

г) пожежогасіння, паро гасіння та первинні протипожежні засоби.

- Збірники і мірники спирту і спиртових продуктів повинні мати герметичні люки, що зачиняються та сполучатися з атмосферою за допомогою повітровиків, споряджених дихальними клапанами і вогневий перешкоджувачами. Рекомендується встановлювати перед вогнеперешкоджувачами спиртовий уловлювач насадкового типу. Повітровики повинні виводитись за межі приміщення згідно з вимог.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

- У відділенні браго-ректифікації мають бути індивідуальні засоби захисту; шланговий протигаз з виносним шлангом, переносний електросвітильник напругою не вище 12 В. у вибухозахищеному виконанні або акумуляторний ліхтар УАС — 3В, запобіжний пояс з рятувальною вірвовкою, протигаз фільтруючий з коробкою А-2 комплекта, аптечка з необхідними медикаментами тощо.

- Чищення та ремонт браго-ректифікаційних, ректифікаційних установок можуть дозволятися лише після їхньої зупинки, охолодження, промивання водою, відключення Трубопроводів за допомогою заглушок, провітрювання приміщення

та улаштування риштування, яке має міцну огорожу.

- Приміщення відділення браго-ректифікації повинно бути обладнано системою автоматичного попередження накопичення вибухонебезпечних концентрацій парів ЛЗР а ввімкненням звукової сигналізації та аварійної вентиляції.

Розрахунок штучного освітлення у відділенні браго - ректифікації.

Виробничий цех має розміри довжина А = 18 м; ширина В= 12м, висота підвіски світильника 3 м. -

Мінімальна освітленість ламп розжарювання за нормами  $E_{\text{тіп}} = 100\text{лк}$  Коефіцієнт відбиття стелі рст.=70%, стін рст.=50%. Напруга в мережі 220 В.

Визначаємо індекс приміщення за формулою

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A+B)} \quad (5.1)$$

де А- довжина приміщення, м.

В- ширина приміщення, м.

$H_p$  - висота світильника над робочою поверхнею, м

Визначаємо індекс приміщення за формулою 5.1

$$i = \frac{18 * 12}{3 * (18 + 12)} = 2,4$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Згідно даних при  $i=2,4$ ;  $p_{\text{ся}}=70\%$ ;  $p_{\text{стін}}=50\%$  коефіцієнт світлового потоку приймаємо  $n = 0,52$ ;  $z=1,15$ ;  $K = 1,5$ .

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймається відношення  $L : H_p = 1$  тоді відстань між центрами світильників визначається за формулою (в м)

$$L = 1,4 \cdot H \quad (5.2)$$

Визначемо відстань між центрами світильників за формулою 5.2:

$$L = 1,4 \cdot 3 = 4,2$$

Визначаємо необхідну кількість ламп в (шт) за формулою

$$n = \frac{S}{L^2} \quad (5.3)$$

Визначаємо необхідну кількість ламп за формулою 5.3

$$n = \frac{18 \cdot 12}{4,2^2} = 13 \text{ шт}$$

При розмішені ламп в 3 ряди по 5 шт. кількість світильників становитиме  $5 \times 3 = 15$  шт.

Визначаємо світловий потік однієї лампи в ( лм ) за формулою

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{n \cdot \eta} \quad (5.4)$$

де  $\Phi$  - світловий потік, що освітлює поверхню, лм ,

$E_{\text{мін}}$  - мінімальна освітленість даного робочого місця за нормами, лк

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S - площа приміщення, м;

K - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт мінімального освітлення.

Визначаємо світловий потік однієї лампи за формулою 5.4

$$\Phi = \frac{100 \cdot 12 \cdot 18 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{15 \cdot 0,52} = 4777$$

Приймаємо лампу потужністю 500 Вт, яка має світловий потік 6800 лм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даному проекті розраховано і розроблено ректифікаційної установку безперервної дії для виробництва етилового спирту продуктивністю 3000 дал умовного спирту.

Запроектовано ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками.

Наведені теоретичні основи і особливості процесу ректифікації, обґрунтований вибір матеріалу та конструкція апарата при виготовленні колони.

Проведені технологічні розрахунки , розрахунки матеріального і теплового балансів, визначені конструктивні розміри ректифікаційного колонного апарату.

Проведені розрахунки гідравлічного опору апарата , проведено вибір допоміжного обладнання.

Виконані розрахунки на міцність підтвержують працездатність апарата.

Приведено методи ремонту і монтажу апарата.

Визначені основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори відділення ректифікації , розраховане освітлення цього відділення.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія спирту /В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер.-Вінниця:Поділля-2000, 2003.-496с.
- 2 Оборудование спиртовых заводов. КолосковС.П., ЯровенкоВ.Л.,Стабников В.Н., Устинников Б.А.- М. Легкая и пищевая промышленность,1975.
3. Грязнов В.П. Практическое руководство по ретификации спирта.- М.:Пищевая промышленность,1968.
4. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности.-М.:Легкая и пищевая промышленность, 1984-336с.
5. Анистратенко В.А. Прямоточные контактные устройства брагоректификационных установок.- М.:Легкая и пищевая промышленность,1983-159с.
6. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности./В.И.Попов, И.Т.Кретов, В.Н.Стабников, В.К.Предтеченский.-М.:Легкая и пищевая промышленность, 1983-464с.
7. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и адсорбционных аппаратов.-К.Техника, 1970-207с.
8. Соколов В.А., Яценко В.Ф., Сиваков Л.Б., Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств. - М.: Легкая и пищевая примышленность, 1983-397с.
- 9.Лацинский А.А, Толчинский А.Р. Основи конструювання й розрахунків хімічної апаратури. - М.: Машгиз, 1963.
10. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці – Львів: Афіша, 2005 – 407 с.
11. Покропивний С.Ф. Економіка підприємства – К.: КНЕУ, 1999 – 407 с.
- 12.Робоча програма та методичні рекомендації до проходження переддипломної практики спеціальності 6. 05050315 Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів, Суми ,в-во СумДУ,2017-21с.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		